

BASES SPH P 2016

Bases de programación
para los sistemas de
predicción hidrológica

Angel Luis
Aldana Valverde

2016

BASES SPH P 2016

*Bases de programación para los
sistemas de predicción
hidrológica*

2016

Angel Luis Aldana Valverde

© BASES SPH P 2016. Bases de programación para los sistemas de predicción hidrológica

© Angel Luis Aldana Valverde. 2016

Obra registrada el 27-marzo-2016 con el identificador 1603276997242 en el Registro de Propiedad Intelectual de Safe Creative (<https://www.safecreative.org>). Todos los derechos reservados.

Agradecimientos

A los de siempre, y sobre todo a los que me soportan y apoyan de manera constante e incondicional.

Prólogo del autor

En 2013 publiqué la primera versión del libro "Bases conceptuales y organizativas para los sistemas de predicción hidrológica". En él traté de ofrecer a los lectores de unos fundamentos que les sirviesen a entender un tema que suele resultar complejo, más aún cuando es raro que en las universidades se imparta formación específica. Abordé el problema con una visión general y con cierto detenimiento en aquellas cuestiones más difíciles de entender, según percibo en mi experiencia profesional como profesor y entrenador de hidrólogos operacionales. Busqué la forma de explicar las respuestas sin apoyo en formulaciones o modelos. Sin embargo, la cuantificación en los razonamientos acaba siendo necesaria, y para ello la programación es muy útil.

Por lo anterior, un buen complemento de lo incluido en el libro de bases conceptuales es el presente, que busca, a través de unos principios básicos de programación y cálculo, que el lector sea capaz de comprender a fondo algunas cuestiones y, lo que es más importante, disponga de herramientas que le permitan cuantificar fenómenos y automatizar tareas (así, el hidrólogo puede ceder a las máquinas la parte de trabajo repetitivo y concentrar sus energías en el razonamiento). Es evidente, pues, que esta publicación está dirigida especialmente a hidrólogos operacionales, pero puede servir a otro perfil de lector que esté interesado en aprender a programar.

Con utilidades como las que se muestran en este libro, es posible desarrollar programas informáticos de elaboración de informes o cálculos hidrológicos completos, pudiendo incluso llegar a generar modelos de previsión.

Como se trata de un libro práctico con apoyo en otro, recomiendo al lector que trabaje simultáneamente con ambas publicaciones, con la aplicación Microsoft-Excel (en la que se desarrollan los ejemplos) y con los archivos de pueden descargarse de Internet (ver capítulo 14 Referencias).

Espero que esta publicación, complementaria de la anterior, sirva para la capacitación de hidrólogos operacionales.

A. Contenido

1	Introducción	1
2	Qué puede aprender el lector con esta publicación	3
2.1	SOBRE VBA.....	3
2.2	SOBRE TRATAMIENTO DE SERIES TEMPORALES	3
2.3	SOBRE HIDROLOGÍA	4
2.4	SOBRE CÁLCULO NUMÉRICO	4
2.5	SOBRE POSIBILIDADES MÁS AVANZADAS	4
3	Excel y la organización de la información	5
4	Primeros pasos con el lenguaje VBA en Excel.....	6
4.1	PREPARAR LA APLICACIÓN	6
4.2	USO DE LA AYUDA	7
4.3	EMPLEO DE ALGÚN TUTORIAL BÁSICO	8
4.4	LA PRIMERA FUNCIÓN.....	8
4.5	VENTANA DE EJECUCIÓN INMEDIATA	9
4.6	USO DE FUNCIONES DE USUARIO EN LAS HOJAS DE CÁLCULO	9
4.7	USO DE OBJETOS.....	10
4.8	USO DE LOS PUNTOS DE INTERRUPCIÓN	12
5	Relleno de huecos	14
5.1	DESACTIVACIÓN DEL CÁLCULO AUTOMÁTICO	17
5.2	USO DE CONTROLES. AÑADIR UN BOTÓN A UNA HOJA	17
6	Interpolación	19
6.1	SPLINES	20
7	Filtrado	22
8	Aplicación de lo aprendido hasta ahora	25
8.1	CAMBIO DE DISCRETIZACIÓN TEMPORAL	25
8.2	DESPLAZAMIENTO DE SERIES EN EL TIEMPO	26
9	Laminación en embalses	27
9.1	PLANTEAMIENTO DE LAS ECUACIONES	27
9.2	UN PEQUEÑO CAMBIO EN LA FUNCIÓN INTERPOLA	28

9.3	EL CÓDIGO ESPECÍFICO	28
10	Transformación de lluvia en escorrentía	31
11	Manejo de archivos	33
11.1	ESCRITURA DE UN ARCHIVO DE TEXTO	33
11.2	LECTURA DE UN ARCHIVO EXCEL	35
11.2.1	<i>Comprobación de si está abierto</i>	<i>35</i>
11.2.2	<i>Apertura y lectura. Control de errores y ejecución</i>	<i>35</i>
12	Acceso a bases de datos	37
13	Ejemplos de desarrollos avanzados con MS-Excel y VBA.....	38
13.1	GENAPROFI. - GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PRODUCTOS	38
13.1.1	<i>Concepción global del sistema</i>	<i>38</i>
13.1.2	<i>Recursos empleados</i>	<i>39</i>
13.1.3	<i>Denominación</i>	<i>40</i>
13.1.4	<i>Tipos de productos.....</i>	<i>40</i>
13.1.5	<i>Modos de uso.....</i>	<i>42</i>
13.1.6	<i>Utilidades incorporadas al sistema</i>	<i>42</i>
13.1.7	<i>Aplicación e interés.....</i>	<i>44</i>
13.1.8	<i>Estructura de archivos.....</i>	<i>44</i>
13.1.9	<i>Estructura de archivos y directorios (carpetas).....</i>	<i>45</i>
13.1.10	<i>Flujo de ejecución.....</i>	<i>50</i>
13.1.11	<i>Difusión de los productos.....</i>	<i>55</i>
13.2	PREV-HEX. MODELOS DE PREVISIÓN CON EXCEL Y APLICACIONES HEC	58
13.2.1	<i>Enfoque de la solución.....</i>	<i>59</i>
13.2.2	<i>Esquema de la automatización</i>	<i>59</i>
13.2.3	<i>Carga de datos.....</i>	<i>60</i>
13.2.4	<i>Ejecución de la aplicación</i>	<i>66</i>
13.2.5	<i>Resultados.....</i>	<i>67</i>
13.3	EJEMPLOS DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DESARROLLADAS EN EXCEL.....	70
13.3.1	<i>Modelo de simulación de la operación del embalse de Barasona. 70</i>	<i>70</i>
13.3.2	<i>Cálculo de flujos.....</i>	<i>80</i>
14	Referencias.....	89
14.1	PREDICCIÓN HIDROLÓGICA.....	89
14.2	PROGRAMACIÓN.....	89
14.3	MATEMÁTICAS Y CÁLCULO NUMÉRICO.....	89
14.4	DESCARGA DE EJEMPLOS	90

B. Figuras

Figura 1.- Ejemplo de almacenamiento de series temporales (variables) [SPH P 2016 Ej 1 Datos.xlsx]	5
Figura 2.- Cómo habilitar los comandos de desarrollador	6
Figura 3.- Inserción de un módulo	7
Figura 4.- Uso de la ayuda pulsando F1	8
Figura 5.- Uso de la ventana "Inmediato"	9
Figura 6.- Uso de la función en una hoja de cálculo	10
Figura 7.- Explicación del uso de objeto Range	12
Figura 8.- Uso de puntos de interrupción	13
Figura 9.- Resultado de aplicar el procedimiento Rellena	17
Figura 10.- Insertar un botón	18
Figura 11.- Cálculo de caudales a través de una curva de gasto	20
Figura 12.- Interpolación con splines	20
Figura 13.- Hoja de explicación complementaria acerca del filtrado	23
Figura 14.- Aplicación de filtro a los caudales	23
Figura 15.- Detalle de la aplicación del filtro	24
Figura 16.- Resultado del cambio de discretización temporal a 1 día	25
Figura 17.- Desplazamiento de series en el tiempo	26
Figura 18.- Uso de nombres para rangos	30
Figura 19.- Ventana principal del ejemplo de laminación en embalse	30
Figura 20.- Transformación lluvia-escorrentía.	32
Figura 21.- Inclusión de la referencia a Microsoft ActiveX Data Objects	33
Figura 22.- Vista del examinador de objetos	34
Figura 23.- Ventana con opción de selección de cambio de datos por medio de controles	36
Figura 24.- Ejemplo de boletín de datos diarios correspondientes con datos en forma de tabla, incluyendo síntesis de información de un periodo determinado	41
Figura 25.- Ejemplo de presentación en forma de gráficos, de datos y resultados de cálculo sobre la base de información de estaciones automáticas	41
Figura 26.- Ejemplo de utilidad para el control de calidad de información.	42
Figura 27: Especificación de directorios en el libro motor.	45
Figura 28.- Especificaciones para los productos que se generan cíclicamente a intervalos regulares (hoja "Lista Ciclo")	45
Figura 29.- Especificaciones para los productos que se generan a horas fijas del día (hoja "Lista Inst")	46

Figura 30.- Subcarpeta de un producto _____	46
Figura 31.- Página principal de difusión (caso CHMR-TG) _____	47
Figura 32.- Carpeta de difusión con páginas web _____	48
Figura 33.- Página web de un producto (caso: El Sabinal) _____	49
Figura 34.- Esquema de flujos de ejecución de programas y generación de productos ____	50
Figura 35.- Hoja de indicación de recorridos periódicos en las órdenes de actualización y generación _____	51
Figura 36.- Ejemplo de hoja de datos de archivo de producto. _____	52
Figura 37.- Ejemplo de hoja de algunos cálculos en archivo de producto, caso de cálculo de tendencias en tirantes _____	52
Figura 38.- Ejemplo de hoja de algunos cálculos en archivo de producto, caso de cálculo de precipitaciones en subcuencas _____	53
Figura 39.- Ejemplo de hoja de algunos cálculos en archivo de producto, caso de cálculo de caudales a partir de medidas de velocidad _____	53
Figura 40.- Ejemplo de hoja de impresión en la que se incluyen mapas y gráficos. _____	54
Figura 41.- Ejemplo de hoja de impresión en la que se transponen tablas del archivo de cálculos. _____	54
Figura 42.- Ejemplo de una de las hojas de un archivo XLSX de pantalla _____	55
Figura 43.- Ejemplo de un archivo PPTX de pantalla _____	55
Figura 44.- Ejemplo de página web de producto _____	56
Figura 45.- Página web de acceso a productos a través de mapas sensibles _____	57
Figura 46.- Página web que incluye marcos de Google Maps para la difusión de información geográfica _____	57
Figura 47.- Visualización del código HTML de una de las páginas de producto desde el explorador de Internet _____	58
Figura 48.- Inspección de elementos de una de las página de producto desde el explorador de Internet _____	58
Figura 49. - Esquema de flujos de información entre aplicaciones _____	59
Figura 50. - Esquema de lectura y escritura de archivos de datos, resultados y códigos de ejecución _____	60
Figura 51. - Hoja de carga de datos desde la base de datos (SIH en el caso de aplicación de El Sabinal en México) _____	61
Figura 52. - Hoja de datos con relleno de huecos _____	61
Figura 53. - Pesos de pluviómetros para el cálculo de subcuencas (Caso El Sabinal) _____	62
Figura 54. - Cálculo de tirantes en función de cotas (Caso El Sabinal) _____	62
Figura 55. - Uso de curvas de gasto para la transformación entre caudales y niveles (Caso Segura). La selección de tabla se realiza en función de los resultados de simulación (ver 13.2.3.4) _____	62
Figura 56. - Cálculo de caudales en estaciones con medidas de velocidad (Caso El Sabinal) _____	63

Figura 57.- Pantalla del modelo Hec-HMS para simulación utilizado en el caso del Segura	63
Figura 58. - Escenarios en tiempo pasado para la calibración del modelo	64
Figura 59. - Tabla de comparación y selección de escenario con mejor ajuste a las observaciones	64
Figura 60. - Hoja de definición de un escenario futuro. En el caso de El Sabinal se definen como precipitaciones en pluviómetros en un tiempo dado y con un volumen total hipotético	65
Figura 61.- Ejemplo gráfico de escenarios hipótesis de futuro sobre las entradas al sistema del río Segura.	66
Figura 62. - Hoja de ejecución de la previsión en modo interactivo	67
Figura 63. - Resultados en puntos con observación. EFi (i=1,2,3) son los resultados de previsión según el escenario futuro que corresponda. Las curvas EPi (i=1,..., 6) representan las simulaciones de cada escenario. Los resultados del seleccionado se marcan con puntos. La línea azul gruesa representa la observación	67
Figura 64. - Resultados en puntos sin observación o con fallo en las medidas	68
Figura 65.- Representación de los escenarios de simulación, niveles observados y previstos según los escenarios de previsión (Caso Segura).	68
Figura 66. - Traza de ejecución del sistema	69
Figura 67. - Hoja con traza de previsión de una de las estaciones	69
Figura 68.- Aspecto de la hoja principal de cálculos de simulación anual a escala mensual	70
Figura 69.- Centrales asociadas a la explotación del embalse de Barasona	71
Figura 70.- Ortofoto con la traza del Canal de Aragon y Cataluña y las posiciones de las Centrales de San José y El Ciego	71
Figura 71.- Introducción de los datos de las curvas de cotas rojas para el cálculo	73
Figura 72.- Ilustración de la definición de demandas en función de los datos	73
Figura 73.- Introducción de los valores de caudales ecológicos	74
Figura 74.- Datos de estadísticas de las aportaciones	74
Figura 75.- Tabla de cálculos	75
Figura 76.- Definición de la fórmula de vertido	76
Figura 77.- Ejemplo de gráfico de resultados de cálculo	77
Figura 78.- Aportaciones de los años 2013 y 2014 comparadas con las estadísticas	78
Figura 79.- Resultados de la simulación para validación con datos del 2013	79
Figura 80.- Contraste de resultados con datos de la validación de la simulación del año 2013	79
Figura 81.- Resultados de la simulación para validación con datos del 2014	80
Figura 82.- Contraste de resultados con datos de la validación de la simulación del año 2014	80
Figura 83.- Esquema de flujos	81
Figura 84.- Vista previa de las tres hojas del libro de cálculo	82
Figura 85.- Aspecto de la hoja "Detalles"	85

<i>Figura 86.- Visión detallada de la hoja "Detalles"</i>	<i>85</i>
<i>Figura 87.- Hoja "Resumen"</i>	<i>86</i>
<i>Figura 88.- Hoja "Esquema"</i>	<i>86</i>
<i>Figura 89.- Hoja de caudales ecológicos</i>	<i>87</i>
<i>Figura 90.- Ejemplo de carga de un modelo de la utilidad Solver</i>	<i>88</i>

C. Tablas

<i>Tabla 1.- Ejemplo de cifras asociadas a la generación de algunos productos.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 2.- Tabla de datos para la simulación</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 3.- Ejemplo de tabla resumen de resultados.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 4.- Tabla resumen de comparación de resultados en el proceso de validación del modelo</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 5.- Datos principales de la utilidad de cálculo de flujos.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 6.- Hipótesis principales de la utilidad de cálculo de flujos</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 7.- Variables de decisión de la utilidad de cálculo de flujos</i>	<i>84</i>

1 Introducción

El hidrólogo operacional requiere múltiples habilidades. El desempeño de sus funciones en un centro de pronóstico hidrológico requiere múltiples conocimientos y capacidades, no sólo en hidrología, sino también en otras disciplinas como la informática y las comunicaciones. De forma más concreta, la formación y experiencia del hidrólogo operacional debe incluir las siguientes capacidades

- Generales
 - Informática avanzada incluyendo
 - Programación
 - SIG
 - Bases de datos
 - Hidráulica e hidrología avanzadas
 - Cálculo numérico
 - Estadística
- Específicos
 - Conocimientos avanzados de
 - Hidráulica (modelos) e hidrometría (métodos e instrumentos)
 - Hidrología (modelos), SIG y comunicaciones (incluyendo desarrollos web)
 - Estadística, bases de datos y redes de medida

Entre las destrezas recomendables para un hidrólogo operacional está la programación de ordenadores, de tal modo que le permita hacer operaciones repetitivas que pueda hacer una máquina. Además, la programación de la solución a un problema implica un buen análisis y nivel de comprensión, es decir, un buen ejercicio intelectual. La capacidad de programación ayuda al hidrólogo a analizar procesos, optimizarlos y a racionalizar muchas tareas.

Hay muchas utilidades informáticas que suele usar un hidrólogo, pero una que podemos considerar universal, por su uso muy extendido, es el programa de hojas de cálculo de Microsoft: Excel. Una de las ventajas que ofrece es que admite programas en un lenguaje sencillo denominado Visual Basic, que suele contar apellidos que matizan que se trata de una versión adaptada a las herramientas ofimáticas de Microsoft y, específicamente, para Excel. En lo que sigue, se reconocerá el lenguaje por el acrónimo VBA.

El lector puede encontrar en Internet los archivos que van a usarse en este libro.

Se encontrarán múltiples referencias al libro "Bases conceptuales y organizativas para los sistemas de predicción hidrológica", indicadas de modo [Bases SPH – Apartado] (ver capítulo 14 de referencias). Algunos de las explicaciones que pueden encontrarse en ese libro se basan en cálculos como los que aquí se presentan.

2 Qué puede aprender el lector con esta publicación

A continuación, se describe brevemente lo que el lector puede aprender con esta publicación.

2.1 Sobre VBA

Aunque el lector no tenga conocimientos previos de programación, podrá acabar teniéndolos si dedica el tiempo necesario a reescribir los códigos, a probarlos y a modificarlos, siguiendo paso a paso cada apartado. El listado de lo que puede aprender a manejar (y que le capacitaría para realizar muchos más desarrollos) es:

- Primeros pasos con el lenguaje y el entorno de programación (ver capítulo 4)
- Declaración de variables, bloques **If**, definición de funciones (apartado 4.4)
- Uso de funciones de usuario en hojas de cálculo (4.6)
- Expresiones lógicas (4.6)
- Uso de objetos y alcance o ámbito de las declaraciones (4.7)
- Acceder al valor de una celda (4.7)
- Desactivación del cálculo automático para acelerar procesos (5.1)
- Uso de controles como botones y desplegables (5.2, 11.2)
- Bucles **For** y **Do** (capítulo 5)
- Aplicar formatos a celdas (capítulo 5)
- Uso de variables tipo **Variant** (6.1 y 9.2)
- Argumentos opcionales en procedimientos y funciones (9.2)
- Bucles **For Each** (10)
- Manejo de archivos de texto (11.1)
- Manejo de archivos Excel (11.2)
- Ampliación del lenguaje añadiendo bibliotecas (11.1)
- Acceso a variables del entorno del sistema operativo (11.1)
- Control de errores (11.2)
- Uso de **MsgBox** para interactuar con el usuario (11.2)
- Copiar y pegar datos (11.2)
- Inhabilitar alertas y mensaje por defecto (11.2)

2.2 Sobre tratamiento de series temporales

Se puede aprender a realizar una serie de operaciones básicas muy útiles:

- Relleno de huecos (capítulo 5)

- Transformación por interpolación en tablas (capítulo 6)
- Filtrado de oscilaciones (capítulo 7)
- Cambios de discretización temporal (8.1)
- Desplazamiento temporal (8.2)

2.3 Sobre hidrología

Se incluyen dos modelos sencillos que permiten soluciones a:

- Laminación en embalses (9)
- Transformación lluvia-escorrentía (10)
- Definición de hidrograma unitario triangular por puntos en función del tiempo de punta y el tiempo de base.
- Cambio de discretización temporal del hidrograma unitario a través del método de la curva en S
- Empleo de número de curva para el cálculo del volumen de escorrentía
- Transformación de lluvia neta en caudal por convolución con el hidrograma unitario

2.4 Sobre cálculo numérico

Sobre cálculo numérico, además del filtrado de media móvil:

- Interpolación (capítulo 6)
- Solución de una ecuación diferencial (9.1)
- Método de Newton-Raphson para la solución de raíces (9.3)
- Realizar una convolución (capítulo 10)

2.5 Sobre posibilidades más avanzadas

En el capítulo 13 se describen desarrollos mucho más complejos, realizados por el autor, para los que no se necesita mucho más conocimiento que lo detallado en esta publicación.

3 Excel y la organización de la información

La organización de la información y su correcta gestión es muy importante en hidrología operacional [Bases SPH 2015 – 3.8.5 Organización de la información], y esto hay que aplicarlo a todos los ámbitos de manejo de información. Los archivos con hojas de cálculo deben estar bien ordenados, su lectura debe ser cómoda y deben incluir comentarios y explicaciones complementarias.

Esto puede arrancar desde la definición de los formatos de cada grupo de información. Así, un conjunto de series temporales debe adoptar un formato cómodo y que incluya suficiente información complementaria o explicativa. Puede ser el caso del archivo con el que se inicia este documento práctico.

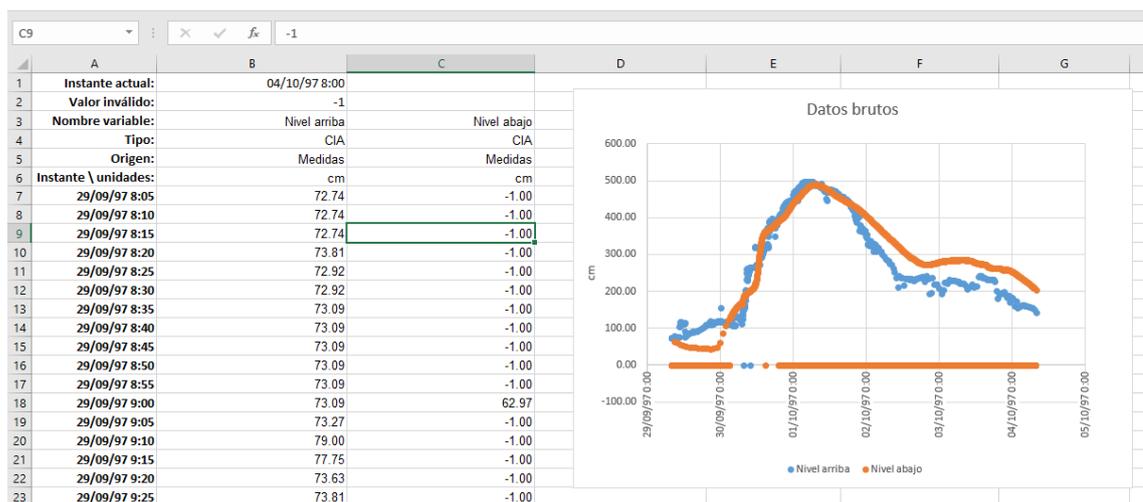


Figura 1.- Ejemplo de almacenamiento de series temporales (variables) [SPH P 2016 Ej 1 Datos.xlsx]

El orden y la claridad contribuirán a que el archivo sea fácilmente manejado por otras personas distintas al que lo creó, y éste no tendrá dificultades tratando de recordar lo que hizo hace ya mucho tiempo atrás.

Empiece por abrir el documento "SPH P 2016 Ej 1 Datos.xlsx" e inspeccionarlo

Del mismo modo, deben incluirse comentarios que ayuden a la interpretación en el código que se escriba.

Los comentarios en el código se inician en una línea con el símbolo '

4 Primeros pasos con el lenguaje VBA en Excel

4.1 Preparar la aplicación

El primer paso consiste en habilitar los comandos de desarrollador, que por defecto suelen estar deshabilitados en la instalación normal de MS-Office. Para ello, hay que ir al menú "Archivo" y seleccionar "Opciones". En ese momento aparecerá una ventana en la que aparece la opción "Personalizar cinta de opciones" (menús de comandos) y que hay que activar "Desarrollador" (Figura 2).

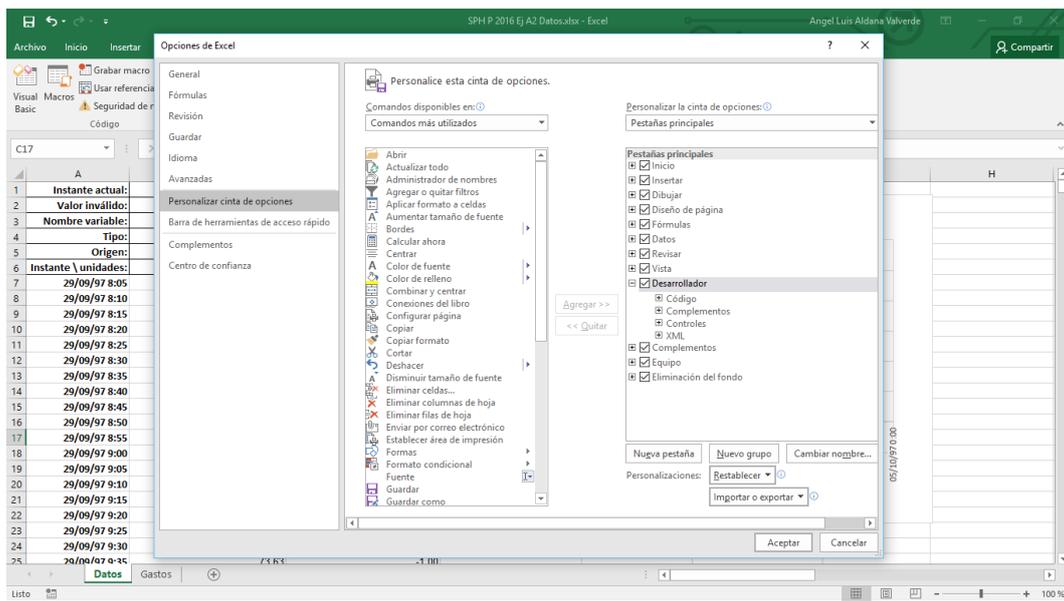


Figura 2.- Cómo habilitar los comandos de desarrollador

Ahora ya es posible hacer click en el botón de Visual Basic y acceder a la interfase de programación. El siguiente paso para poder empezar a escribir código es la creación de un módulo, lo que se hará seleccionando el nombre del libro con el que se esté trabajando y usando el comando de menú "Insertar módulo" (Figura 3). Una vez realizado esto, seleccionando el módulo en la ventana "Proyecto", su nombre puede cambiarse en la ventana "Propiedades".

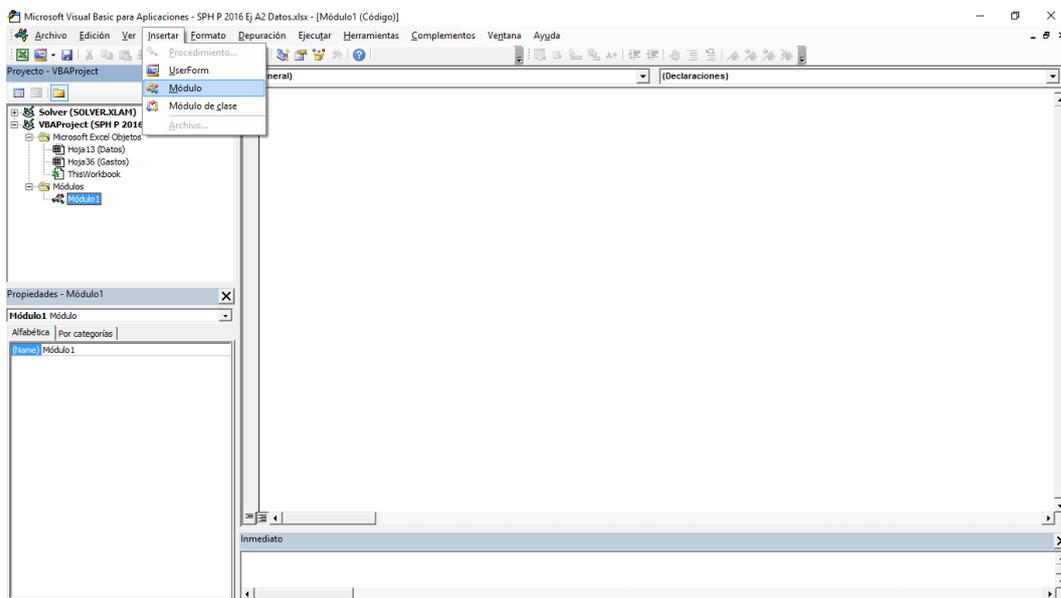


Figura 3.- Inserción de un módulo

Una vez se haya insertado el módulo, conviene guardar el documento, pero con la opción de "Libro de Excel habilitado para macros", con lo que se guardará con la extensión "XLSM".

Guarde el archivo con el nombre "SPH P 2016 Ej 2 Modulo.xlsm" que será usado con el primer módulo.

4.2 Uso de la ayuda

El primer problema que se encuentra el usuario que empieza a programar es el uso de la ayuda. Por defecto, al usar el menú de ayuda o pulsar la tecla F1, el navegador de Internet nos lleva una página con conceptos avanzados de VBA para Excel. Para empezar, es mejor seleccionar "Desarrollo de Office" y hacer click en "Referencia del Lenguaje VBA para Office" (aunque quizás en la siguiente versión de Office, paquete de programas en el que está incluido Excel, la estructura de la ayuda sea distinta).

Si desde el código que se está usando, se selecciona una instrucción y después se pulsa F1, el navegador saltará a la página específica de esa instrucción.

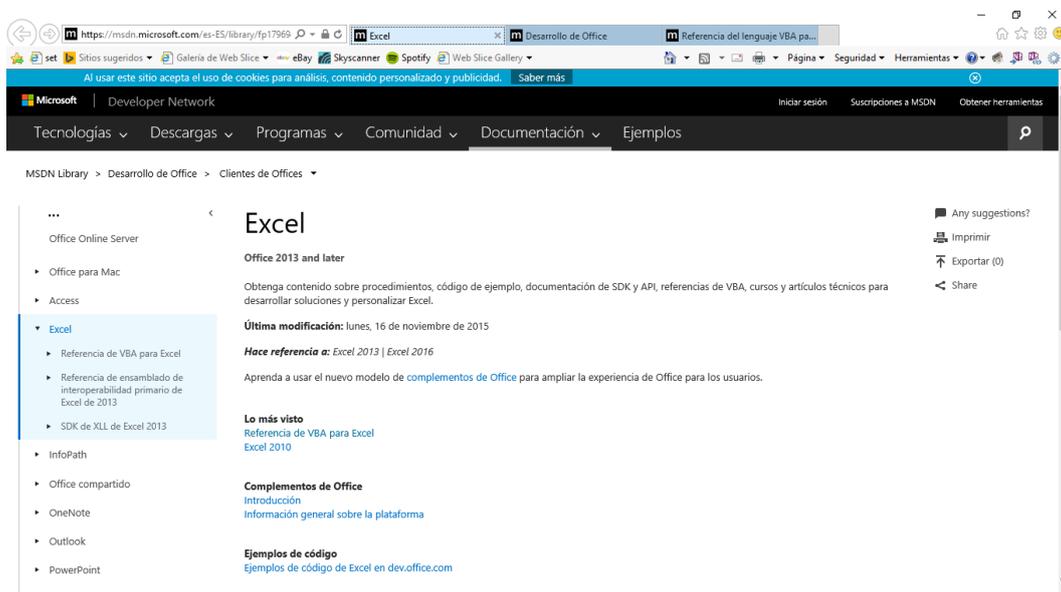


Figura 4.- Uso de la ayuda pulsando F1

4.3 Empleo de algún tutorial básico

A pesar de que ya se puede empezar a buscar información sobre el lenguaje en la web de Microsoft referida anteriormente, el lector que no tenga nociones de programación puede encontrar dificultades en entender la información que encuentre en estas páginas. Pero basta con escribir "VBA para Excel" en un buscador, como el de Google, y aparecerán muchos tutoriales que pueden descargarse gratuitamente. No obstante, el lector podrá ir aprendiendo lo suficiente a medida que avance con los ejemplos que se incluyen en esta publicación.

4.4 La primera función

Los siguientes ejemplos están en el archivo "SPH P 2016 Ej 2 Modulo.xlsm"

En primer lugar, se escribirá la sentencia "Option Explicit" que obligará a declarar las variables, lo que ayudará a que el código que se escriba tenga menos errores.

Después cabe escribir un código como el siguiente

```
Option Explicit ' La sentencia Option Explicit obligará a declarar las variables (como integer, por ejemplo)

Function SiEsInvalido1(valor As Double) As Boolean
    Dim respuesta As Boolean ' Es una variable auxiliar tipo lógico, admite dos valores (True o False)
    If valor = -1 Then ' Sentencia del tipo "Si condición entonces ..."
        respuesta = True
    Else
        respuesta = False
    End If
    SiEsInvalido1 = respuesta 'la función devuelve el valor almacenado por la variable auxiliar
End Function
```

La sentencia Dim declara la variable, con lo que puede ser usada.

La variable "valor", de tipo doble (número real) será el argumento de la función, cuyo resultado será de tipo booleana (lógico).

Se ha incluido el primer tipo de sentencia que estructura el código en bloques: la instrucción *If condición Then ... Else ...Endif*, en la que *condición* es una variable o expresión que resulte en un valor lógico (verdadero o falso)

En hidrología operacional es obligatorio trabajar con series temporales con huecos (falta de datos en un intervalo temporal) o errores (valores incorrectos). Por ello, las posiciones de cada intervalo con falta de datos o con datos erróneos se marca con un determinado valor (valor inválido).

4.5 Ventana de ejecución inmediata

La primera forma de probar el funcionamiento de la función será haciendo uso de la ventana de inmediato (Figura 5), escribiendo una línea como la siguiente

? SiEsInvalido1(1), SiEsInvalido1(-1)

Lo que tendrá como respuesta:

Falso Verdadero

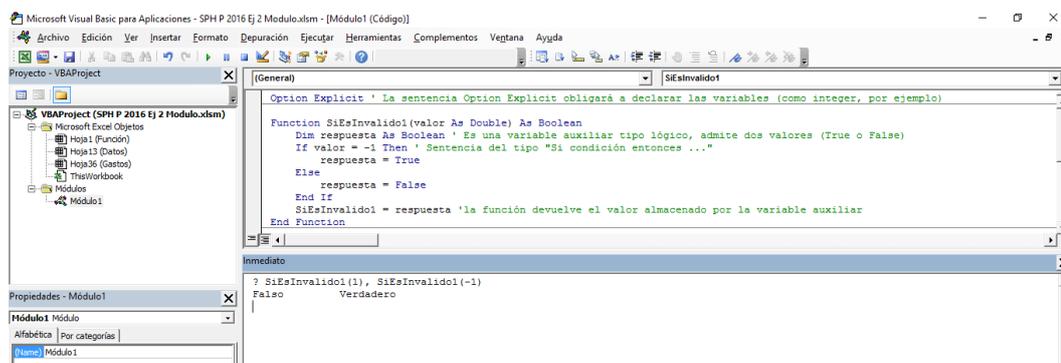


Figura 5.- Uso de la ventana "Inmediato"

Puede que sea necesario usar el comando de menú "Depuración/Compilar VBAProject".

4.6 Uso de funciones de usuario en las hojas de cálculo

Pero la función también puede usarse desde una hoja de cálculo (Figura 6). Para ello, se escribe directamente el nombre de la función y el argumento que se desea pasar a la misma. Por ejemplo: "=SiEsInvalido1(G4)". O bien, cabe recurrir a buscar la función dentro de las definidas por el usuario que aparecen en la ventana emergente con el menú "Insertar función".

Hay que comprobar en el menú Fórmulas de Excel, que está habilitado la opción "Cálculo automático"

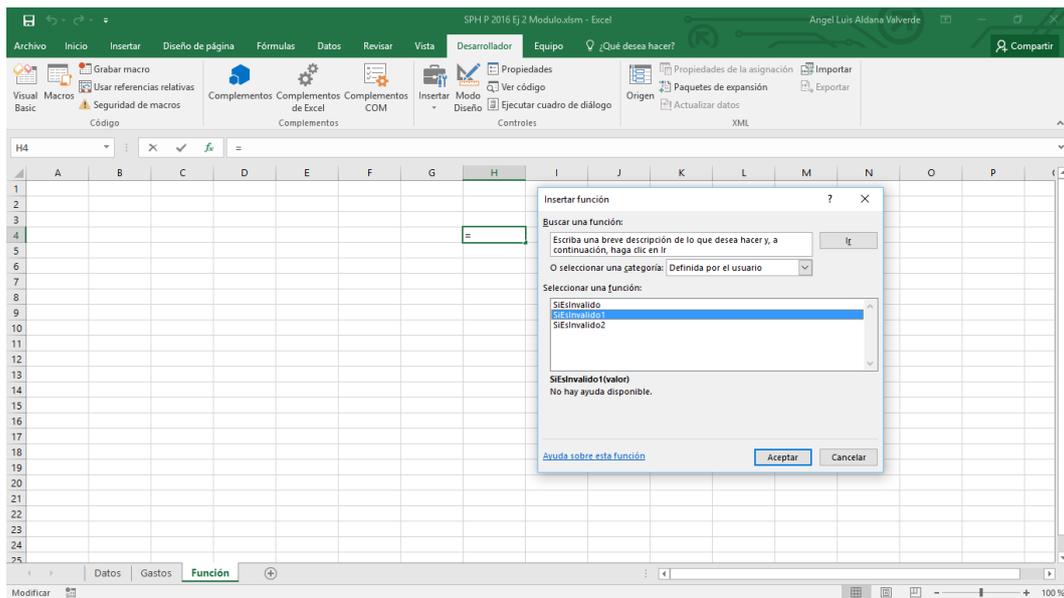


Figura 6.- Uso de la función en una hoja de cálculo

Esta función puede escribirse de modo más sintético:

```
Function SiEsInvalido2(valor As Double) As Boolean
    SiEsInvalido2 = (valor = -1) 'El resultado será el mismo pero requiere menos código
End Function
```

Lo que está entre paréntesis es una condición lógica, cuyo resultado será verdadero (**true**) o falso (**false**).

4.7 Uso de objetos

Anteriormente, se ha creado un módulo en el que se pueden incluir funciones y también procedimientos (fragmentos de código, entre **Sub** y **End Sub**, que realiza algunas acciones pero que no devuelven ningún valor), o variables accesibles desde las funciones y procedimientos de ese módulo u otro (si son declaradas **Public**, lo que se verá en otros ejemplos), o instrucciones del tipo **Option Explicit** que actúan a modo de directiva.

Pero los lenguajes evolucionaron hacia lo que se conoce como programación orientada a objetos. Los objetos son unidades de programación que están dotados de unos métodos y unos atributos. Sus atributos pueden representarse mediante alguna estructura de datos y sus métodos, que representan el comportamiento del objeto, mediante procedimientos y funciones. Además, cuentan con eventos, que son sucesos a los que pueden reaccionar. Así, si un objeto es una aplicación, un atributo es el nombre, un método es calcular y un evento es la activación de su ventana por

parte del usuario (haciendo click, por ejemplo). A esto se le puede añadir que una propiedad (atributo) puede ser otro objeto.

La programación orientada a objetos cuenta con clases (molde de definición del objeto) e instancias (caso particular "en espacio y tiempo" empleada por el usuario de la clase en su código). Las clases han podido ser preparadas por otro desarrollador, y el usuario de la clase sólo tiene que conocer cómo funciona, en qué consiste, pero no sus detalles internos de programación. Esto facilita mucho la labor del programador. El entorno de programación nos ofrece la posibilidad de usar un gran número de clases. Aquí se mostrarán algunos ejemplos.

La programación orientada a objetos cuenta con la ventaja de la abstracción y encapsulación, y con otras cualidades, como son la herencia (una clase hereda su definición y comportamiento de otra previamente definida) y el polimorfismo (gracias a esto el método Calcula puede ser aplicable a diferentes objetos).

Estos conceptos pueden tener dificultad de entendimiento, pero al ver un ejemplo se puede entender mejor. La función puede ser ahora definida como:

```
Function ValorInvalido() As Double
    'Esto da flexibilidad, pues puede cambiarse el modo de marcar valores inválidos en
    ' una serie de datos modificando el valor de la celda "B2" de la hoja "Datos"
    ValorInvalido = Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B2").Value
End Function
Function SiEsInvalido(valor As Double) As Boolean
    SiEsInvalido = (valor = ValorInvalido)
End Function
```

Ahora, se usa una función auxiliar (ValorInvalido) que da flexibilidad a la aplicación, pues se puede modificar fácilmente el modo de marcar los valores inválidos. La siguiente ilustración puede ser útil para entender ese código (Figura 7).

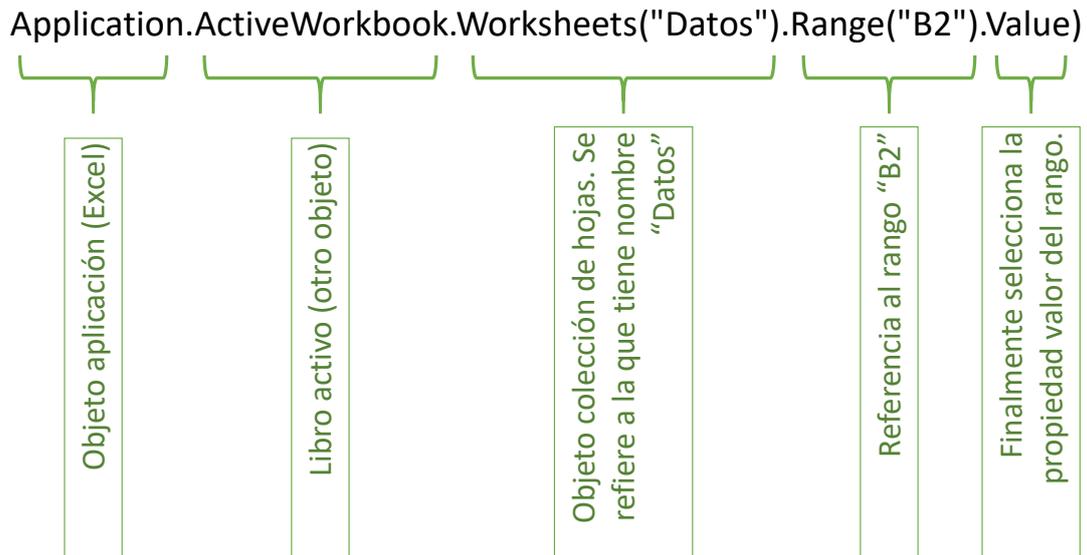


Figura 7.- Explicación del uso de objeto Range

4.8 Uso de los puntos de interrupción

El menú depuración ofrece acceso a activar o desactivar un punto de interrupción, lo que también puede hacerse con la tecla F9. Gracias a esto, el flujo de ejecución puede detenerse en cualquier línea de código para comprobar el funcionamiento del programa e inspeccionar valores de variables. Colocando el cursor en la línea en la que se desea que el flujo del programa pare, al pulsar F9 la línea aparece marcada en rojo (punto de interrupción activado).

También puede resultar útil la ejecución paso a paso pulsando la tecla F8.

Esto, junto a la ventana de inmediato, son las herramientas básicas de depuración del código.

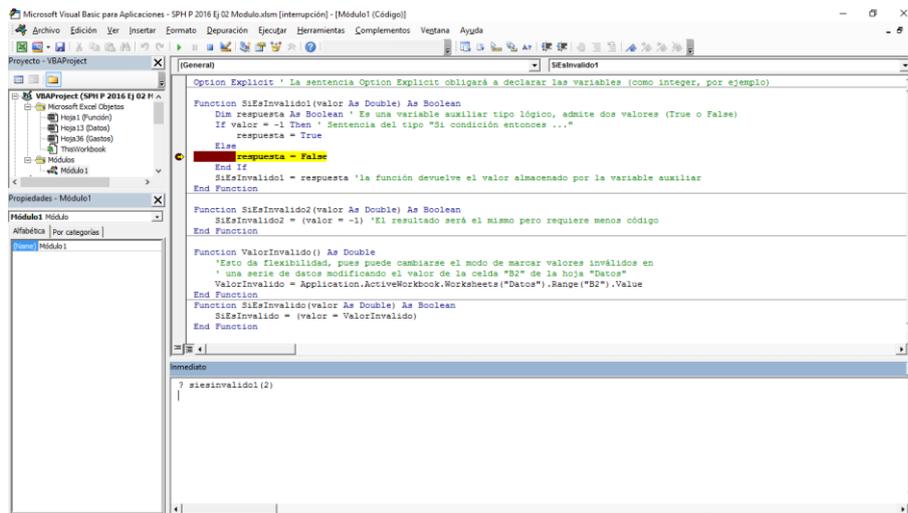
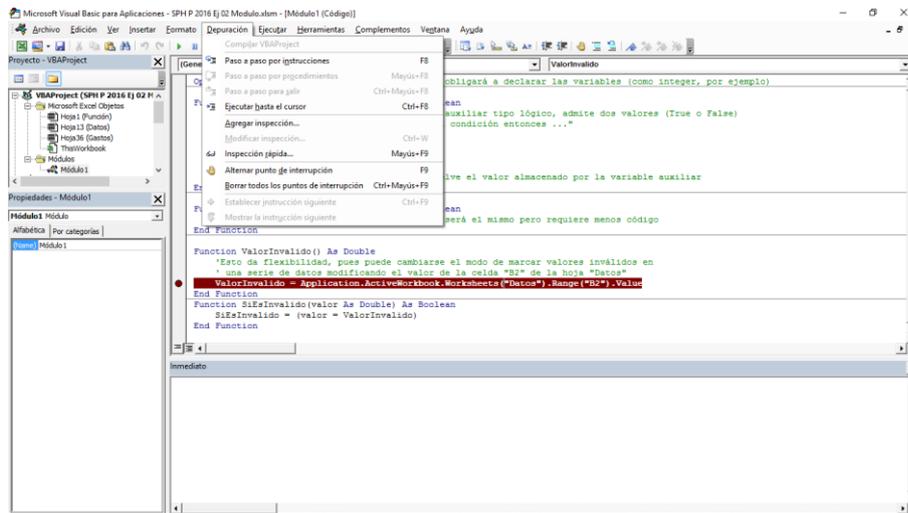


Figura 8.- Uso de puntos de interrupción

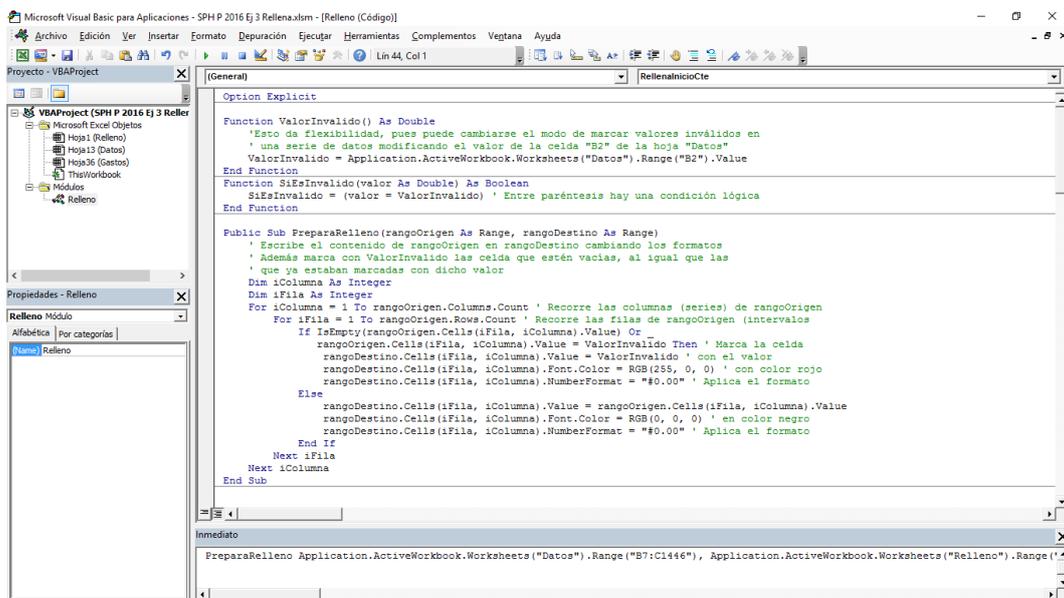
5 Relleno de huecos

Las series originales procedentes de las medidas de un sistema automático de información hidrológica cuentan (casi seguro) con huecos, por lo que el primer problema a solucionar, para trabajar con ellas, es el de relleno de huecos.

El archivo correspondiente a este capítulo es "SPH P 2016 Ej 3 Rellena.xlsm", que se basa en el anterior con las dos últimas funciones. Se empieza por añadir una hoja denominada "Relleno" casi idéntica a "Datos"

Aunque no sea necesario, el primer paso va a ser copiar los datos de un lugar a otro con un formato determinado.

Esto induce a una buena práctica en hidrología operacional que consiste en que nunca deben perderse los datos originales y hay que tenerlos siempre fácilmente accesibles.



```
Option Explicit

Function ValorInvalido() As Double
    'Esto da flexibilidad, pues puede cambiarse el modo de marcar valores inválidos en
    ' una serie de datos modificando el valor de la celda "B2" de la hoja "Datos"
    ValorInvalido = Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B2").Value
End Function

Function SiEsInvalido(valor As Double) As Boolean
    SiEsInvalido = (valor = ValorInvalido) ' Entre paréntesis hay una condición lógica
End Function

Public Sub PreparaRelleno(rangoOrigen As Range, rangoDestino As Range)
    ' Escribe el contenido de rangoOrigen en rangoDestino cambiando los formatos
    ' Además marca con ValorInvalido las celdas que estén vacías, al igual que las
    ' que ya estaban marcadas con dicho valor
    Dim iColumna As Integer
    Dim iFila As Integer
    For iColumna = 1 To rangoOrigen.Columns.Count ' Recorre las columnas (series) de rangoOrigen
        For iFila = 1 To rangoOrigen.Rows.Count ' Recorre las filas de rangoOrigen (intervalos)
            If IsEmpty(rangoOrigen.Cells(iFila, iColumna).Value) Or
                rangoOrigen.Cells(iFila, iColumna).Value = ValorInvalido Then ' Marca la celda
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).Value = ValorInvalido ' con el valor
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).Font.Color = RGB(255, 0, 0) ' con color rojo
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).NumberFormat = "#0.00" ' Aplica el formato
            Else
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).Value = rangoOrigen.Cells(iFila, iColumna).Value
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).Font.Color = RGB(0, 0, 0) ' en color negro
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).NumberFormat = "#0.00" ' Aplica el formato
            End If
        Next iFila
    Next iColumna
End Sub
```

Esto se realiza con el código siguiente que se prueba en la ventana de inmediato con el comando (todo en una misma línea, ver figura anterior)

```
PreparaRelleno Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"),
Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
```

También puede funcionar omitiendo Application.ActiveWorkbook, pero se incluye por razones didácticas, así el lector entenderá mejor la estructura de objetos de Excel

En este ejemplo se han incluido bloques de tipo *For var=1 To N Step I ... Next var*. En un principio, se ejecuta el código que está dentro del bloque con el valor inicial (1) de la variable (*var*), después se va sumando *I* a esta variable hasta que se alcanza *N*. Si se omite *Step I* entonces el incremento será de 1 (valor por defecto).

Es recomendable usar sangrías / tabuladores al editar el código para que los bloques se muestren de manera clara

El primer paso (y este criterio es discutible) es rellenar los huecos iniciales asignando el primer valor válido recorriendo la serie a lo largo del tiempo. Esto puede realizarse con el código:

```
Public Sub RellenaInicioCte(rangoOrigen As Range, rangoDestino As Range)
    ' Rellena los huecos iniciales de un conjunto de series
    ' asignando el primer valor válido encontrado
    Dim iColumna As Integer
    Dim iFila As Integer
    Dim iFilaValido As Integer

    For iColumna = 1 To rangoOrigen.Columns.Count ' Recorre las columnas de rangoOrigen
        iFilaValido = 1
        Do While rangoOrigen.Cells(iFilaValido, iColumna).Value = ValorInvalido And iFilaValido < rangoOrigen.Rows.Count
            iFilaValido = iFilaValido + 1 ' suma 1 al valor anterior
        Loop
        If iFilaValido < rangoOrigen.Rows.Count Then ' no tiene sentido en otro caso
            For iFila = 1 To iFilaValido - 1 ' Recorre las primeras filas de rangoOrigen
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).Value = rangoOrigen.Cells(iFilaValido, iColumna).Value
            Next iFila
        End If
    Next iColumna
End Sub
```

Ahora se ha incluido otro tipo de bloque, *Do While condición ... Loop*, mediante el cual se ejecuta lo que está en el interior mientras se cumpla que condición (expresión o variable lógica) tome valor verdadero.

Este código puede probarse del mismo modo que el anterior. El resultado se irá viendo en la hoja "Relleno".

Para los huecos finales:

```
Public Sub RellenaFinCte(rangoOrigen As Range, rangoDestino As Range)
    ' Rellena los huecos iniciales de un conjunto de series
    ' asignando el primer valor válido encontrado
    Dim iColumna As Integer
    Dim iFila As Integer
    Dim iFilaValido As Integer

    For iColumna = 1 To rangoOrigen.Columns.Count ' Recorre las columnas de rangoOrigen
        iFilaValido = rangoOrigen.Rows.Count
        Do While rangoOrigen.Cells(iFilaValido, iColumna).Value = ValorInvalido And iFilaValido > 1
            iFilaValido = iFilaValido - 1 ' suma 1 al valor anterior
        Loop
        If iFilaValido > 1 Then ' no tiene sentido en otro caso
            For iFila = iFilaValido + 1 To rangoOrigen.Rows.Count ' Recorre las primeras filas de rangoOrigen
                rangoDestino.Cells(iFila, iColumna).Value = rangoOrigen.Cells(iFilaValido, iColumna).Value
            Next iFila
        End If
    Next iColumna
End Sub
```

Los huecos intermedios se van a rellenar por interpolación lineal, con un código algo más complejo.

Estos procedimientos podrían optimizarse con algunas técnicas que se verán en posteriormente y otras, pero resultarían menos claros y didácticos.

```

Public Sub RellenaIntermedio(rangoOrigen As Range, rangoDestino As Range)
' Relleno de huecos intermedios
Dim ih As Integer
Dim fP As Integer, fU As Integer
Dim f1 As Integer, f2 As Integer, f As Integer

For ih = 1 To rangoOrigen.Columns.Count
'Primera fila sin huecos
fP = 1
Do While rangoOrigen.Cells(fP, ih).Value = ValorInvalido And fP < rangoOrigen.Rows.Count
fP = fP + 1 ' suma 1 al valor anterior
Loop
' Última fila sin huecos
fU = rangoOrigen.Rows.Count
Do While rangoOrigen.Cells(fU, ih).Value = ValorInvalido And fU > 1
fU = fU - 1 ' resta 1 al valor anterior
Loop
If fP < fU Then
f = fP + 1 'Comprobará el siguiente
Do While f < fU
If rangoOrigen.Cells(f, ih).Value = ValorInvalido Then
f1 = f - 1 ' El anterior era válido
Do
f = f + 1 ' Busca el siguiente
Loop While rangoDestino.Cells(f, ih).Value = ValorInvalido
f2 = f ' Fila del siguiente válido
For f = f1 + 1 To f2 - 1 ' Rellena los intermedios por interpolación
rangoDestino.Cells(f, ih).Value = _
(rangoOrigen.Cells(f2, ih).Value - rangoOrigen.Cells(f1, ih).Value) _
/ (f2 - f1) * (f - f1) + rangoOrigen.Cells(f1, ih).Value
Next

f = f2 + 1 ' Para el siguiente bucle
Else ' Si es válido
rangoDestino.Cells(f, ih).Value = rangoOrigen.Cells(f, ih).Value
f = f + 1
End If
Loop
End If
Next ih
End Sub

```

Finalmente, podemos definir un procedimiento que use lo anterior con un solo comando:

```

Public Sub Rellena()
PreparaRelleno Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
RellenaInicioCte Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
RellenaFinCte Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
RellenaIntermedio Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
End Sub

```

El símbolo "_" permite continuar la escritura de código en otra línea del editor, pero como si se tratase de una misma línea a efectos de programación.

Este procedimiento lo podemos asociar a un botón o usarlo desde la ventana Inmediato. El resultado será el de la figura (Figura 9)

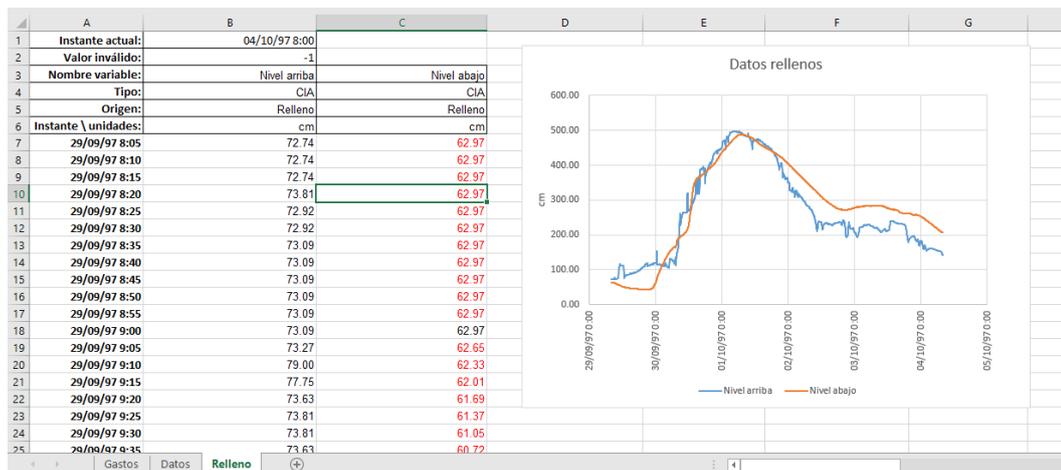


Figura 9.- Resultado de aplicar el procedimiento Rellena

Un procedimiento como este puede funcionar de manera muy lenta si, asociado a los datos que se rellenan hay muchos cálculos derivados. Esto es debido a que, en Excel y cuando está configurado con la opción de cálculo automático, cada vez que se modifica una celda se propagan las actualizaciones a las dependientes. Pero, a continuación, se mostrará cómo solucionar esto en un programa.

5.1 Desactivación del cálculo automático

Para evitar que Excel propague actualizaciones de otras celdas cada vez que se modifique aquella de la que dependen, se modifica la rutina "Rellena" del siguiente modo:

```
Public Sub Rellena()
    Application.Calculation = xlCalculationManual ' Desactiva el cálculo automático
    ' para que no propague actualizaciones a celdas dependientes

    PreparaRelleno Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
        Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
    RellenaInicioCte Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
        Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
    RellenaFinCte Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
        Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")
    RellenaIntermedio Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Datos").Range("B7:C1446"), _
        Application.ActiveWorkbook.Worksheets("Relleno").Range("B7:C1446")

    Application.Calculate ' Se obliga a realizar los cálculos
    Application.Calculation = xlCalculationAutomatic ' Se activa el modo automático
End Sub
```

5.2 Uso de controles. Añadir un botón a una hoja

Los controles de usuario, caso de un botón en el que hacer click para que se ejecute alguna opción, están accesibles desde el menú "Desarrollador", usando el comando "Insertar" (5.1). La acción click del usuario (evento que recoge el botón) se asocia a un procedimiento (rutina Sub o macro) a través de una ventana emergente al insertar el botón (Figura 10).

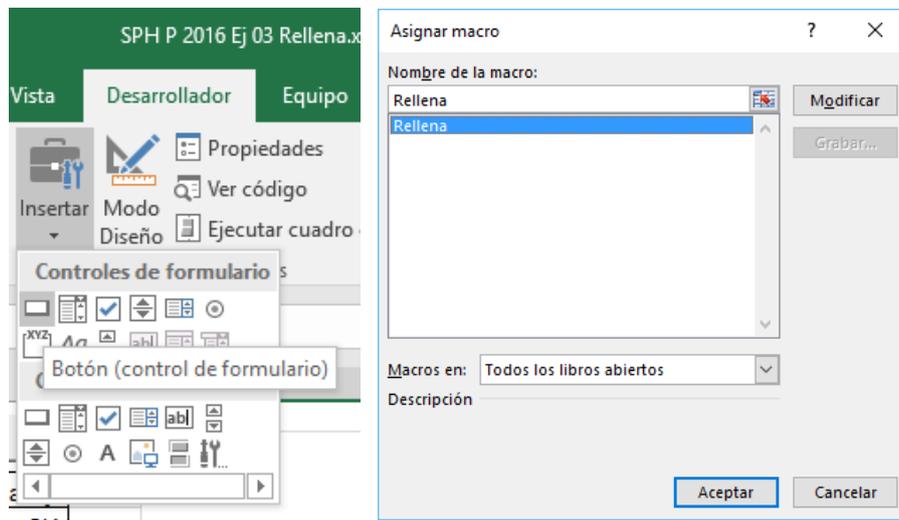


Figura 10.- Insertar un botón

Para acceder a la ventana de selección de macro o para cambiar otras propiedades del botón hay que hacer click sobre el control con el botón derecho, con lo que aparecerá un menú contextual asociado al botón que se desea modificar.

6 Interpolación

En primer lugar, se crea otro módulo en el que se va a incluir una función de interpolación. A este módulo se le llama "Cálculos" pues en él se incluirán códigos generales de cálculo, y en él se introduce el siguiente código.

```
Function InterpolaV(X0, X As Range, Y As Range)
'Interpola X0 en la tabla definida por los rangos verticales X y Y
Dim n As Integer, i1 As Integer, i2 As Integer
Dim x1 As Double, x2 As Double, y1 As Double, y2 As Double

n = X.Rows.Count
If X0 > X(n, 1) Then
    i1 = n - 1
ElseIf X0 <= X(1, 1) Then
    i1 = 1
Else
    i1 = 0
    ' La búsqueda es secuencial
    ' Cabe mejorar este algoritmo (búsqueda dicotómica, por ejemplo)
    Do While X0 > X(i1 + 1, 1) ' Tiene que estar ordenado en orden creciente
        i1 = i1 + 1
    Loop
End If
i2 = i1 + 1
x1 = X(i1, 1)
x2 = X(i2, 1)
y1 = Y(i1, 1)
y2 = Y(i2, 1)
InterpolaV = y2 + ((y1 - y2) / (x1 - x2)) * (X0 - x2)
End Function
```

En este caso la sentencia If cuenta con tres bloques

Obsérvese que ahora se usan variables tipo rango como si fueran matrices, pero que son necesariamente bidimensionales (filas y columnas). Por ello, como se pretenden usar con rangos de filas en una sola columna, hay que indicar 1 en la segunda dimensión (la de columnas en la clase Range).

Esto puede usarse para calcular caudales a partir de los niveles y las curvas de gasto. Para ello creamos una hoja denominada "Caudales" y se emplea la función como muestra la siguiente figura.

Esto puede encontrarse ya en el archivo "SPH P 2016 Ej 4 Interpola.xlsm"

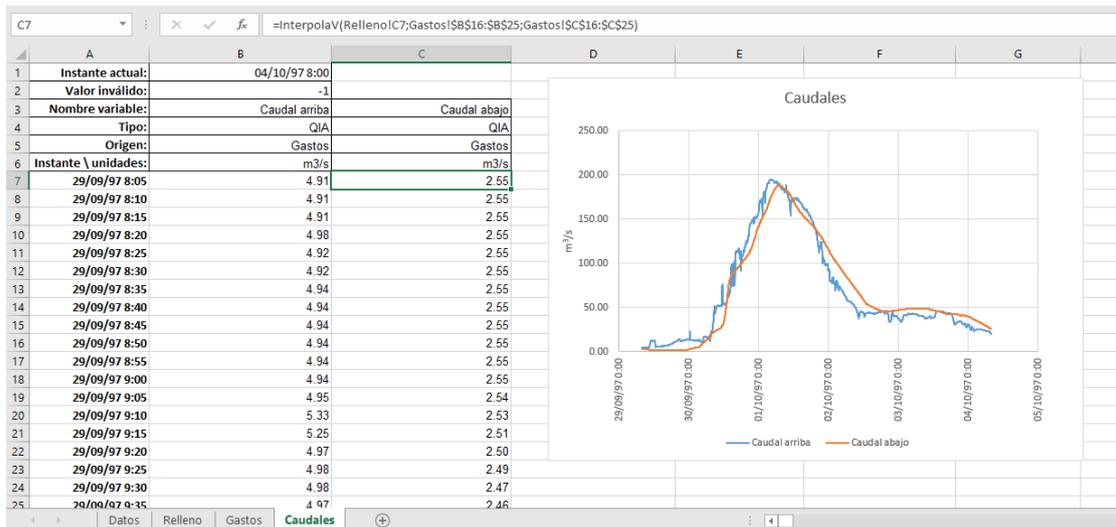


Figura 11.- Cálculo de caudales a través de una curva de gasto

6.1 Splines

Anteriormente se ha usado la interpolación lineal. Cabe la posibilidad de usar otras curvas, como los splines (curvas diferenciables definidas en porciones por polinomios). Su formulación es más compleja y debe tenerse precaución en su uso, pues puede llevar a resultados indeseados (Figura 12).

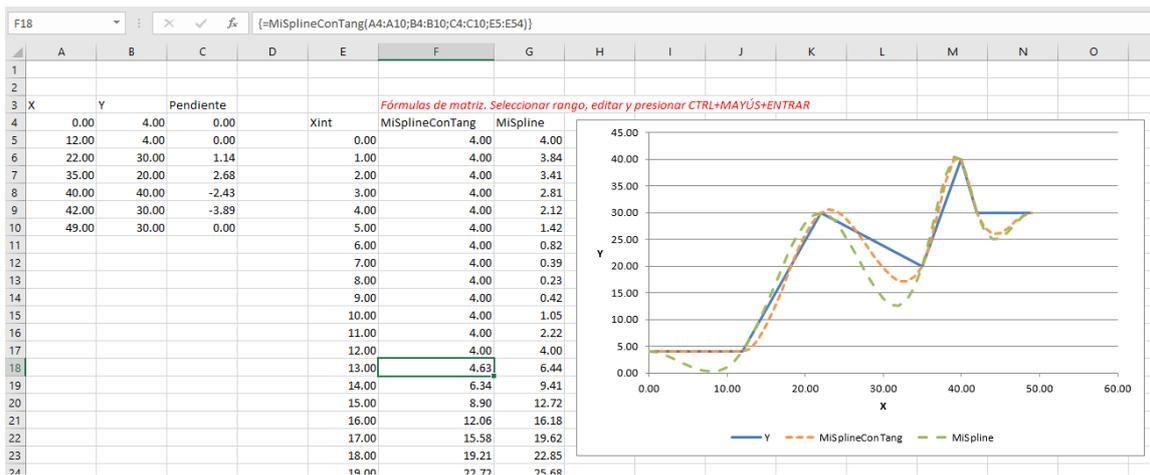


Figura 12.- Interpolación con splines

No obstante, se incluye un ejemplo (archivo "SPH P 2016 Ej 5 Splines.xlsx") en el que se incluye un código con funciones de rango (concepto algo más complejo dentro de Excel) que se han implementado con variables de tipo Variant ("El tipo Variant es un tipo de datos especial que puede contener cualquier tipo de datos salvo datos String de longitud fija", según indica la web de ayuda).

El código de este ejemplo es más complejo. No se incluye aquí pero el lector interesado puede encontrarlo en el archivo correspondiente.

En la definición de la función principal se usa:

Function MiSpline(X As Variant, y As Variant, Xint As Variant) As Variant

El uso de estas opciones de programación permite optimizar código, pero su desarrollo y uso puede requerir cierto grado destreza programando y usando Excel.

El procedimiento Rellena (capítulo 5) puede convertirse en una función de rango, lo que tendría sus ventajas, pero también sus inconvenientes

7 Filtrado

A menudo, las medidas registran oscilaciones que pueden ser debidas a oleaje, turbulencias u otras razones. Por ello es recomendable aplicar un filtro de media móvil que suavice las variaciones. Esto debe hacerse con precaución, pues pueden eliminarse variaciones reales e inducir a errores, lo que puede ser importante al tratar las variables de un embalse, por ejemplo.

El archivo de este capítulo es "SPH P 2016 Ej 6 Filtrado.xlsm", que se basa en el "SPH P 2016 Ej 4 Interpola.xlsm"

En el archivo de ejemplo que se concluyó con las interpolaciones aplicadas al cálculo de caudales, se añadirá una hoja "Q Filtrado", muy similar a "Caudales", pero a la que se añadirá la definición del filtro (con número de filas impares), y los valores se calcularán con la función siguiente:

```
Public Function Filtrado(fila As Integer, valores As Range, pesos As Range) As Double
    ' Los pesos totales serán simétricos. El primer valor será el peso central
    ' Es el algoritmo usado para suavizar series temporales
    ' La variable fila hace referencia a la posición a calcular dentro de valores
    Dim ip As Integer, v As Double, sumP As Double, ve As Double
    v = 0#
    sumP = 0 ' Se impondrá suma de pesos igual a 1
    ' Primero se pondera con los valores anteriores
    For ip = 2 To pesos.Rows.Count
        If fila - ip + 1 >= 1 Then 'Cuando hay valores suficientes
            sumP = sumP + pesos(ip)
            v = v + pesos(ip) * valores(fila - ip + 1)
        Else ' Para los valores del inicio se supone una simetria axial
            ' respecto del punto a calcular a modo de extrapolación.
            ' Esto evita algunos problemas, aunque tiene sus inconvenientes
            sumP = sumP + pesos(ip)
            ve = valores(fila) - (valores(fila + ip - 1) - valores(fila))
            v = v + pesos(ip) * ve
        End If
    Next ip
    sumP = sumP + pesos(1)
    v = v + pesos(1) * valores(fila) ' El valor central
    'Para los valores posteriores
    For ip = 2 To pesos.Rows.Count
        If fila + ip - 1 <= valores.Rows.Count Then 'Cuando hay valores suficientes
            sumP = sumP + pesos(ip)
            v = v + pesos(ip) * valores(fila + ip - 1)
        Else ' Lo mismo que por la izquierda
            sumP = sumP + pesos(ip)
            ve = valores(fila) + (valores(fila) - valores(fila - ip + 1))
            v = v + pesos(ip) * ve
        End If
    Next ip
    Filtrado = v / sumP
End Function
```

Realiza una media ponderada en cada intervalo con los valores de los pesos del filtro. Previamente, se redefine el filtro de modo que la suma de pesos sea uno. A la función se le pasa por argumento parte de los pesos, incluyendo el central, que será el primero, y los siguientes, pero no los anteriores, pues el filtro será simétrico y con elementos impares.

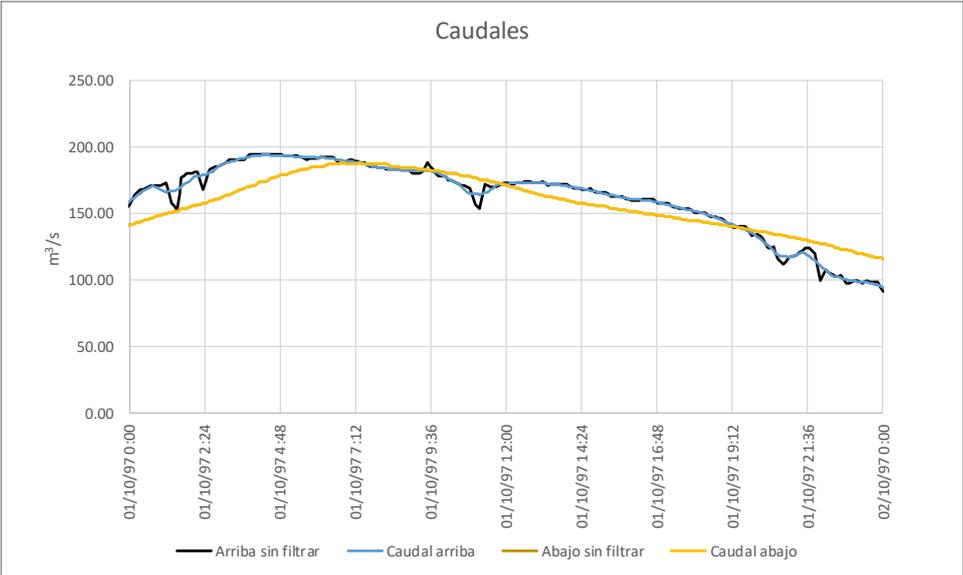


Figura 15.- Detalle de la aplicación del filtro

8 Aplicación de lo aprendido hasta ahora

Según lo visto anteriormente, se cuenta con solución para:

- Rellenar huecos en series temporales
- Transformar series con el uso de una tabla
- Filtrar una serie

Pero el algoritmo de interpolación tiene muchos otros usos. A continuación, se presentan unos ejemplos.

8.1 Cambio de discretización temporal

Las series que se usan en el ejemplo tienen discretización de 5 minutos. Cabe la posibilidad de que hubiera que trabajar con otras series cuya discretización fuera de 60 minutos o 1 día, por ejemplo, y, por ello, fuera necesario hacer cambios para uniformizarlas. Para esto se puede usar el algoritmo de interpolación como se muestra en el ejemplo "SPH P 2016 Ej 7 Apli Interpola.xlsm". Algo así podría hacerse sin necesidad de código, pero esta solución es muy flexible (los intervalos de discretización no tienen que ser múltiplos, ni coincidir instantes de intervalos, por ejemplo).

Se incluye también el ejemplo "SPH P 2016 Ej 8 Discretización.xls" que corresponde con la ilustración del punto Bases SPH 2015 – 3.7.2 Discretización temporal. Se sugiere consultar el apartado citado para reflexionar sobre la cuestión.

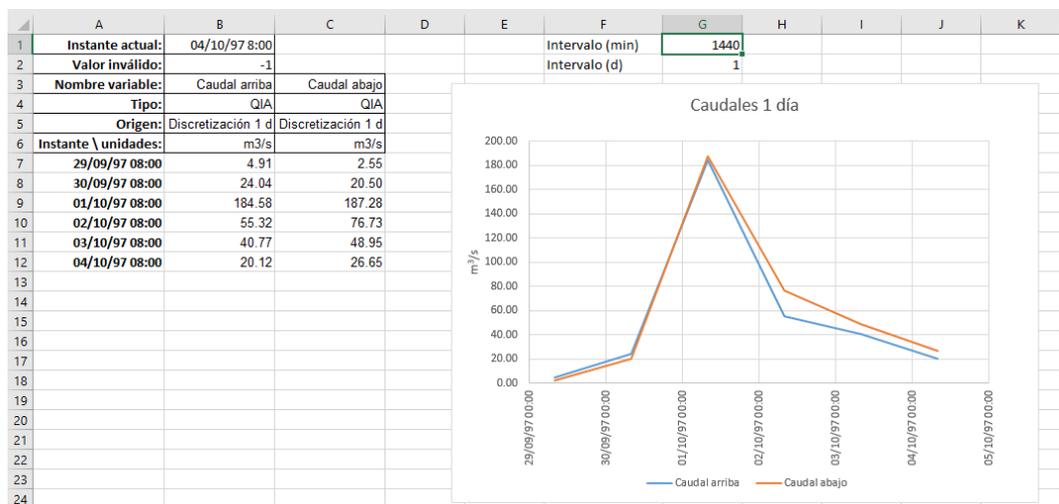


Figura 16.- Resultado del cambio de discretización temporal a 1 día

8.2 Desplazamiento de series en el tiempo

La función de interpolación también puede ser utilizada para desplazar una serie temporal, lo que puede ser útil para evaluar el desfase entre dos series (Figura 17).

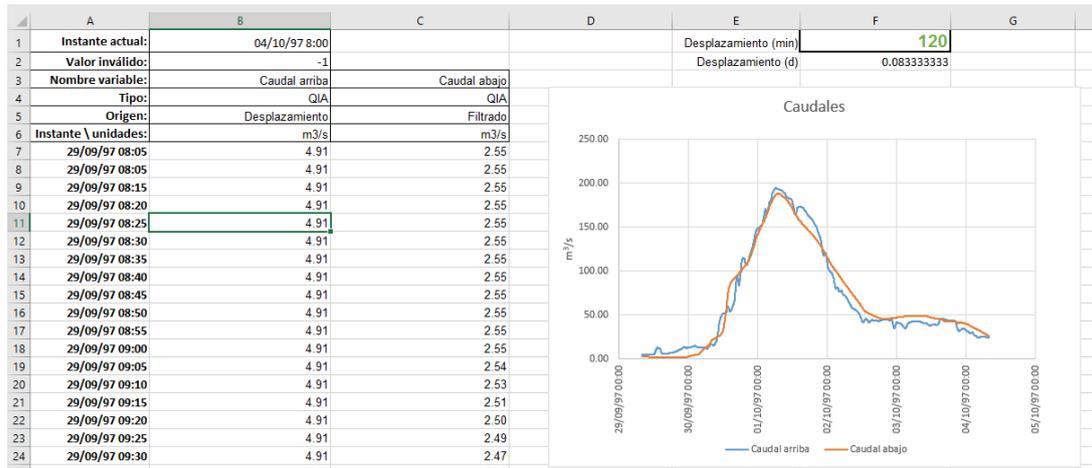


Figura 17.- Desplazamiento de series en el tiempo

9 Laminación en embalses

Lo que se presenta a continuación ha servido para los cálculos y gráficos que se muestran en el apartado 9.2 "Laminación de crecidas sin operación de válvulas y compuertas" del libro "Bases SPH 2015".

Este problema es, desde el punto de vista numérico, algo más complejo que los anteriores, por lo que se incluye en planteamiento de las ecuaciones que hay que solucionar.

El archivo a usar ahora es "SPH P 2016 Ej 9 Lamina.xlsm"

9.1 Planteamiento de las ecuaciones

El cálculo de la laminación de crecidas se basa en un balance de masas en el cual la variación de volumen almacenado en el embalse durante un período determinado, debe ser igual a la diferencia entre los volúmenes que entran y salen del embalse.

Si se llama $V(t)$ al volumen embalsado, $Q_e(t)$ al caudal que entra y $Q_s(t)$ al caudal que sale, todo ellos función del tiempo t , la ecuación que rige el fenómeno es:

$$\frac{dV}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) \quad (\text{Ecuación de continuidad})$$

En diferencias finitas, siendo i cada intervalo de tiempo, la ecuación se transforma en:

$$\frac{V_i - V_{i-1}}{\Delta t} - \frac{Q_{e_{i-1}} + Q_{e_i}}{2} + \frac{Q_{s_{i-1}} + Q_{s_i}}{2} = 0$$

En el caso que aquí se trata, se va a suponer conocido el hidrograma de entrada $Q_e(t)$.

La solución del problema buscará $N(t)$, la evolución del nivel del embalse, y el caudal de salida $Q_s(t)$, suponiendo que $V(t) = \text{Bat}(N(t))$, siendo Bat la curva batimétrica del embalse, y que $Q_s(t) = \text{Des}(N(t))$, donde Des representa la expresión del desagüe en función del nivel del embalse.

Como se trata de una ecuación diferencial, es necesaria una condición inicial, que será $N(t=0) = N_0$ (situación inicial del embalse).

Así, la ecuación resultante es:

$$\frac{\text{Bat}(N_i) - \text{Bat}(N_{i-1})}{\Delta t} - \frac{Q_{e_{i-1}} + Q_{e_i}}{2} + \frac{\text{Des}(N_{i-1}) + \text{Des}(N_i)}{2} = 0$$

Donde las incógnitas son los valores de N_i .

Su solución requiere algún método numérico especial. El que se usa en este caso en una variante del conocido como Newton-Raphson. La explicación de éste puede encontrarse fácilmente en cualquier libro de cálculo, o en Internet (por ejemplo, en Wikipedia <https://es.wikipedia.org>).

9.2 Un pequeño cambio en la función Interpola

En un caso como éste, puede ser recomendable evitar que la función “Interpola” haga extrapolaciones que pueda llevar a valores negativos. Por ello, se hace alguna modificación en el código correspondiente.

```
Function InterpolaV(X0, X As Range, Y As Range, Optional MinY As Double = -1.7E+308)
    'Interpola X0 en la tabla definida por los rangos verticales X y Y
    Dim n As Integer, i1 As Integer, i2 As Integer
    Dim x1 As Double, x2 As Double, y1 As Double, y2 As Double
    Dim res As Double

    n = X.Rows.Count
    If X0 > X(n, 1) Then
        i1 = n - 1
    ElseIf X0 <= X(1, 1) Then
        i1 = 1
    Else
        i1 = 0
        ' La búsqueda es secuencial
        ' Cabe mejorar este algoritmo (búsqueda dicotómica, por ejemplo)
        Do While X0 > X(i1 + 1, 1) ' Tiene que estar ordenado en orden creciente
            i1 = i1 + 1
        Loop
    End If
    i2 = i1 + 1
    x1 = X(i1, 1)
    x2 = X(i2, 1)
    y1 = Y(i1, 1)
    y2 = Y(i2, 1)

    res = y2 + ((y1 - y2) / (x1 - x2)) * (X0 - x2)
    ' Opcionalmente (ver argumentos) cabe la posibilidad de
    ' imponer un valor mínimo al resultado (0 si se espera un resultado positivo, por ejemplo)
    If res < MinY Then
        InterpolaV = MinY
    Else
        InterpolaV = res
    End If
End Function
```

Se trata de un ejemplo de uso de parámetros opcionales, es decir, que no es necesario indicarlos en la sentencia de llamada a la función.

9.3 El código específico

En primer lugar, son necesarias algunas variables y funciones auxiliares

```
' Al indicar Private en las declaraciones, las variables o funciones correspondientes
' no serán reconocidas fuera de este módulo
Private IncTiempo As Double, VolIni As Double, QsIni As Double, VolQe As Double
Private Const IncXDerivada As Double = 0.00001
Private Const Infinitesimo As Double = 0.0000001
Private Const MaxIteraciones As Integer = 30
Private Const Tolerancia As Double = 0.0001

Private Function RaizBuscada(X As Double) As Double
' Se trata de la raíz buscada (la ecuación) que se trata de solucionar
' en LaminaEmb
Dim v2 As Double, q2 As Double
v2 = InterpolaV(X, Range("Cotas"), Range("VolumenHM3"), 0)
q2 = InterpolaV(X, Range("Cotas"), Range("DesagüeTotal"), 0)
RaizBuscada = VolQe - (v2 - VolIni) * 1000000 - (QsIni + q2) / 2# * 3600 * IncTiempo
End Function

Private Function Der_Raiz(ByRef X As Double) As Double
' Esta función calcula la derivada discreta de la raíz de LaminaEmb
Der_Raiz = 0.5 * (RaizBuscada(X + IncXDerivada) - RaizBuscada(X - IncXDerivada)) / IncXDerivada
End Function
```

Con este ejemplo, también se puede aprender a definir el ámbito de variables, funciones o procedimientos, con el uso de Private o Public. Además, se emplean rangos con nombre.

La función que se llamará para obtener el nivel en cada instante es:

```
' Hay que definir en el libro los rangos "Cotas", "VolumenHM3" y "DesagüeTotal"
' Se incluyen en LaminaEmb como argumento para solucionar posibles problemas
' de recálculo (no se recalcularían cuando se modifican valores de dichos rangos)
Public Function LaminaEmb(cotaIni As Double, VolEntra As Double, incT As Double, _
    RCotas As Range, RVHm3 As Range, RQtotal As Range) As Double

    Dim X0 As Double
    Dim x1 As Double ' Valor de nivel en una iteración
    Dim x2 As Double ' Valor de nivel en una iteración siguiente
    Dim f1 As Double ' Almacena el valor de la raíz en una iteración
    Dim f2 As Double ' Almacena el valor de la raíz siguiente en una iteración
    Dim df As Double
    Dim dx1 As Double 'Diferencia de x (nivel) de dos iteraciones sucesivas
    Dim dx2 As Double 'Diferencia de x (nivel) del ciclo siguiente

    X0 = cotaIni ' Valor inicial
    IncTiempo = incT ' Argumento
    'Se inician algunas variables
    VolIni = InterpolaV(cotaIni, RCotas, RVHm3, 0)
    QsIni = InterpolaV(cotaIni, RCotas, RQtotal, 0)
    VolQe = VolEntra
    misIteraciones = 0
    x2 = X0
    f2 = RaizBuscada(x2)

    dx2 = 1E+300
    Do While Abs(dx2) >= Tolerancia And misIteraciones < MaxIteraciones
        x1 = x2
        f1 = f2
        dx1 = dx2
        misIteraciones = misIteraciones + 1
        df = Der_Raiz(x1)
        If Abs(df) <= Infinitesimo Then
            mierror = RaizBuscada(x1)
            LaminaEmb = x1
            Exit Function
        End If
        dx2 = f1 / df
        x2 = x1 - dx2
        f2 = RaizBuscada(x2)
        'Mecanismo de salvaguarda:
        Do While (Abs(f2) > Abs(f1)) And (Abs(dx2) > Tolerancia)
            dx2 = dx2 * 0.5
            x2 = x1 - dx2
            f2 = RaizBuscada(x2)
        Loop
    Loop
    LaminaEmb = x2
End Function
```

En este caso, se emplean rangos por nombre (Range("Cotas"), Range("VolumenHM3"), Range("DesagüeTotal")), los cuales se definirán en el libro correspondiente (Figura 18). Todos están definidos en la hoja Curvas, en las que se incluyen la batimétrica y las de desagüe.

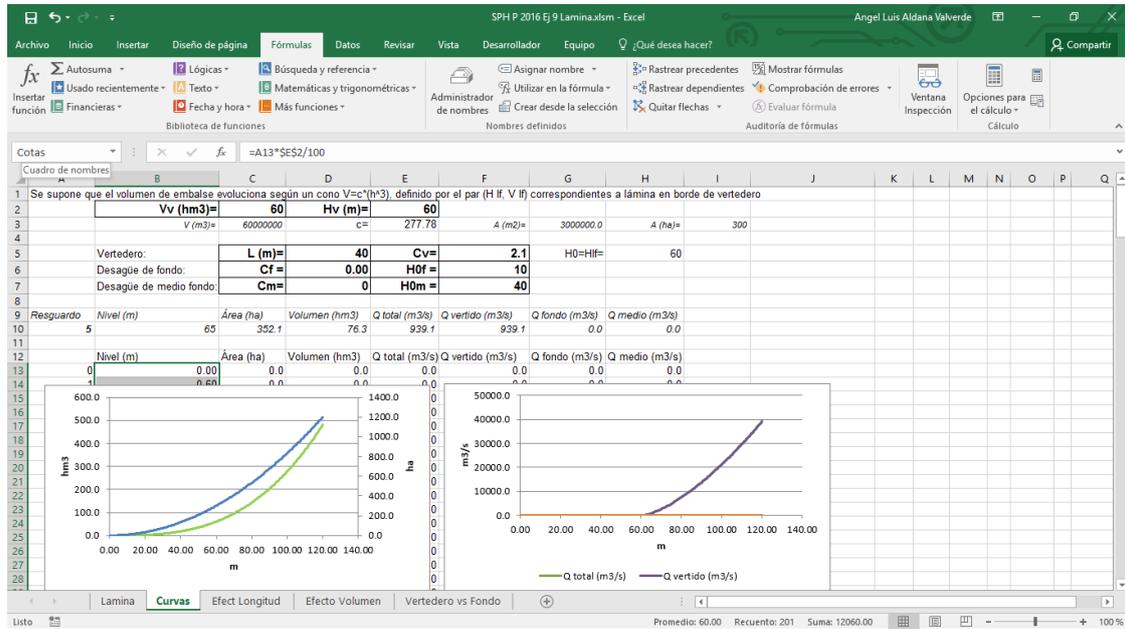


Figura 18.- Uso de nombres para rangos

En el ejemplo (Figura 19) se define un caudal de entrada según la forma del hidrograma de diseño SCS dado por puntos (se puede encontrar en un libro de hidrología básica).

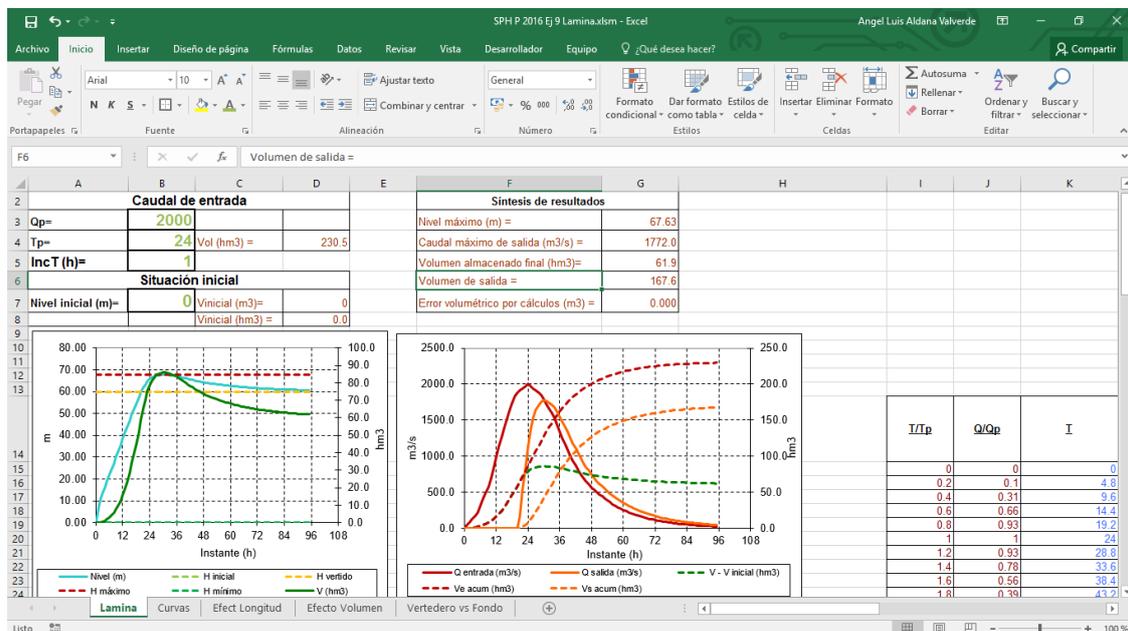


Figura 19.- Ventana principal del ejemplo de laminación en embalse

10 Transformación de lluvia en escorrentía

En este capítulo se muestra cómo construir un modelo sencillo de transformación lluvia-escorrentía. Se basa en:

- Definición de hidrograma unitario triangular por puntos en función del tiempo de punta y el tiempo de base.
- Cambio de discretización temporal del hidrograma unitario a través del método de la curva en S
- Empleo de número de curva para el cálculo del volumen de escorrentía
- Transformación de lluvia neta en caudal por convolución con el hidrograma unitario

Estos conceptos se encuentran en los libros básicos de hidrología.

El libro de Excel de ejemplo (SPH P 2016 Ej 10 Convolución.xlsm) sirvió para los ejemplos de apartado "3.7.2.2 Error de valores punta y de desfase en la transformación lluvia-escorrentía" del libro "Bases SPH 2015".

En primer lugar, con intención didáctica, se incluye una variante de las fórmulas de interpolación. Ahora se usa el tipo Variant, ya tratado anteriormente, y una instrucción del tipo [For Each...Next](#).

```
Function Interpola(x As Variant, vector_x As Variant, vector_f As Variant) As Double
    Dim i As Integer, ic As Integer, xc As Variant
    i = 0
    ic = 0
    For Each xc In vector_x
        i = i + 1
        If x <= xc Then
            ic = i
            Exit For
        End If
    Next xc
    If ic = 1 Then ic = 2
    If ic = 0 Then ic = i
    Interpola = vector_f(ic - 1) + (vector_f(ic) - vector_f(ic - 1)) / _
        (vector_x(ic) - vector_x(ic - 1)) * (x - vector_x(ic - 1))
End Function
```

La mayor parte de los cálculos se realizan con esta función de interpolación (en el uso de curva en S, por ejemplo) y con las propias de Excel. Pero para los cálculos de convolución resulta útil definir y usar una función como la siguiente:

```

Public Function Convol(iq As Integer, HU As Variant, Pn As Variant) As Double
    Dim ih As Integer, j As Integer
    Dim q As Double
    q = 0#
    For ih = 1 To HU.Count
        If HU(ih) > 0# Then
            j = iq - ih + 1
            If j >= 1 And j <= Pn.Count Then
                q = q + HU(ih) * Pn(j)
            End If
        Else
            q = q
        End If
    Next ih
    Convol = q
End Function
    
```

La siguiente figura (Figura 20) ilustra una de las hojas principales del libro.

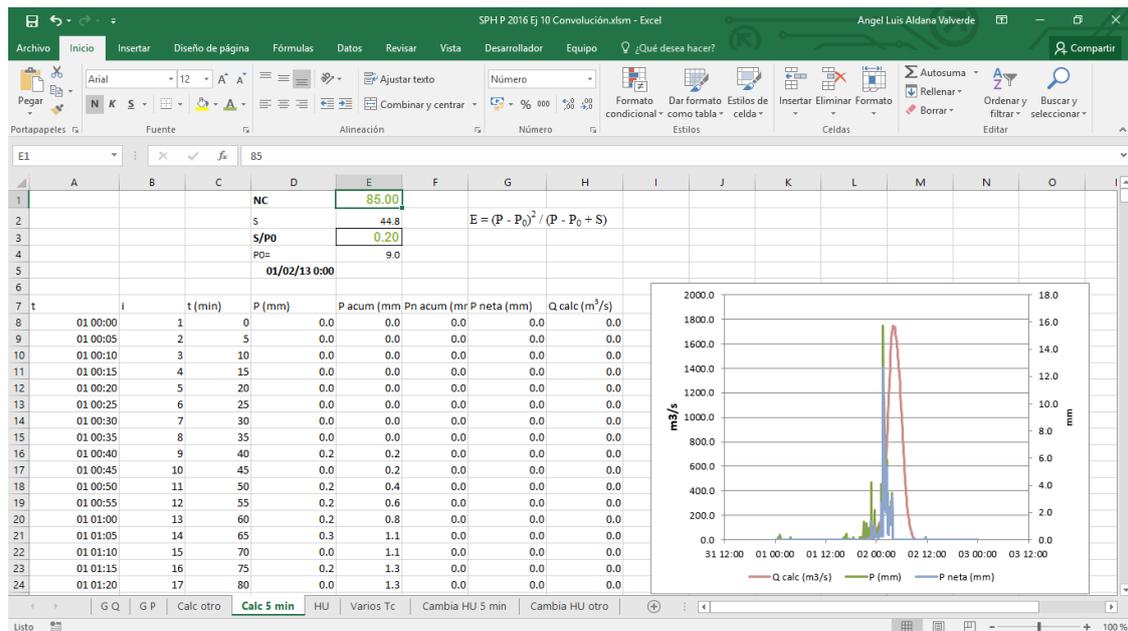


Figura 20.- Transformación lluvia-escorrentía.

11 Manejo de archivos

Desde VBA pueden manejarse archivos de texto y de Excel. En este capítulo se va a presentar un par de ejemplos de ambos.

El archivo de ejemplo para este capítulo ("SPH P 2016 Ej 11 Archivos.xlsm") incluye algunos controles (desplegable y botón) en una de las hojas. Se emplean los archivos "SPH P 2016 Ej 11 Archivos D1.xlsx" y "SPH P 2016 Ej 11 Archivos D2.xlsx".

11.1 Escritura de un archivo de texto

Se va a usar la clase ADODB.Stream, que se encuentra en la biblioteca "Microsoft ActiveX Data Objects", por lo que hay que incluirla en las referencias, lo que se realiza desde el menú "Herramientas" (Figura 21). De ese modo contamos con una ampliación del lenguaje.

Pulsando F2 se accede al examinador de objetos, que permite consultar las bibliotecas en uso y sus objetos (Figura 22).

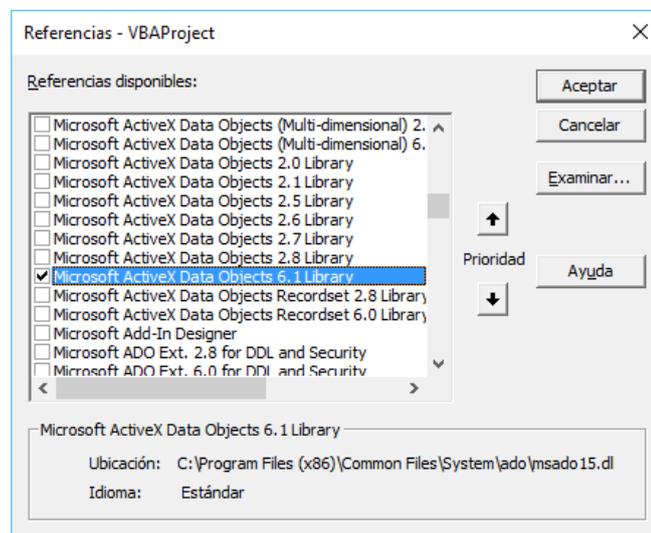


Figura 21.- Inclusión de la referencia a Microsoft ActiveX Data Objects

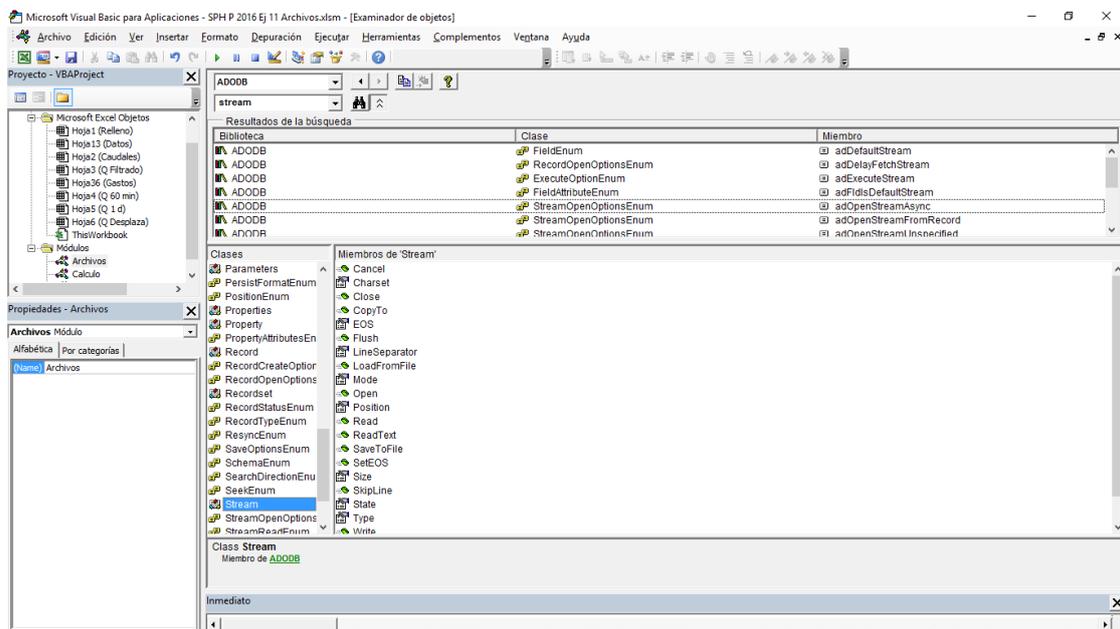


Figura 22.- Vista del examinador de objetos

Una vez se ha incluido la referencia necesaria, puede incluirse el siguiente código, que se ha incluido en un módulo denominado "Archivos".

Option Explicit

```
Sub CreaArchivo(archivo As String, texto As String)
    Dim cadena As String
    Dim st As ADODB.Stream 'Requiere la referencia a Microsoft ActiveX Data Objects
    Set st = New ADODB.Stream
    With st
        .LineSeparator = adCRLF
        .Charset = "iso-8859-1"
        .Open
        .WriteText texto
        .SaveToFile archivo, adSaveCreateOverWrite
        .Close
    End With
End Sub
```

```
Public Function DirUsuario() As String
    DirUsuario = Environ("USERPROFILE") & "\"
End Function
```

```
Public Sub CreaArchivoLog()
    Dim txt As String
    Dim arch As String
    txt = "Última carga de datos: " & Format(Now, "dd/mm/yyyy hh:mm")
    arch = DirUsuario & "Documents\" & Application.ActiveWorkbook.Name & "-Log.txt"
    CreaArchivo arch, txt
End Sub
```

En el anterior código se muestra cómo usar la instrucción With (ejecuta una serie de instrucciones en un solo objeto o tipo definido por el usuario), la función Environ del sistema y cómo formatear la impresión de una variable (de tipo fecha, en este caso)

Si el lector ejecuta CreaArchivoLog desde la ventana "inmediato", podrá comprobar que se crea un archivo en la carpeta de documentos del usuario.

11.2 Lectura de un archivo Excel

Este código, aplicado al ejemplo, va a permitir cambiar los valores de la hoja "Datos" con los incluidos en otros archivos.

11.2.1 Comprobación de si está abierto

La siguiente función es auxiliar del código principal y puede ser útil en muchos casos.

```
Public Function ILibro(nombre As String) As Integer
    ' Devuelve -1 si no se encuentra el libro por nombre.
    ' Si lo encuentra, devuelve el valor del índice
    ' en la colección Workbooks
    Dim i As Integer, r As Integer
    r = -1
    For i = 1 To Application.Workbooks.Count
        If UCase(Application.Workbooks(i).Name) = UCase(nombre) Then
            r = i
            Exit For
        End If
    Next i
    ILibro = r
End Function
```

11.2.2 Apertura y lectura. Control de errores y ejecución

El código para la lectura de datos de otros archivos es:

```
Public Function LeeDatos(nombreArchivo As String) As Boolean
    ' Devolverá verdadero si ha podido leer el archivo de datos
    Dim iL As Integer
    Dim miLL As Integer
    Dim siAbierto As Boolean
    Dim resp As Boolean ' Valor que devolverá la función
    |
    resp = False

    On Error GoTo SiErrorLeeDatos ' Salta a la etiqueta si se produce un error de ejecución

    Application.DisplayAlerts = False 'Evita alertas y mensajes predeterminados
    miLL = ILibro(ActiveWorkbook.Name) 'Debe estar activo el libro "SPH P 2016 Ej 11 Archivos.xlsm"

    ' Primer se comprueba si está abierto y trata de abrirlo si no lo está
    iL = ILibro(nombreArchivo)
    If iL = -1 Then ' Si no está abierto
        siAbierto = False
        If Dir(ActiveWorkbook.Path & "\" & nombreArchivo) <> "" Then ' Comprueba que existe el archivo
            Workbooks.Open ActiveWorkbook.Path & "\" & nombreArchivo ' Debe estar en la misma carpeta
        Else ' Ventana de información al usuario
            MsgBox "No se encuentra el archivo " & vbNewLine & ActiveWorkbook.Path & "\" & nombreArchivo
            Application.DisplayAlerts = True
            LeeDatos = False ' Devuelve el valor
            Exit Function ' Sale de la ejecución
        End If
    Else
        siAbierto = True ' Estaba abierto
    End If
```

```

iL = ILibro(nombreArchivo)
If iL > 0 Then
    Worksheets(iL).Worksheets("Datos").Range("A7:C1446").Copy
    Worksheets(miIL).Worksheets("Datos").Range("A7").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, _
        Operation:=xlNone, SkipBlanks:=False, Transpose:=False
    resp = True ' Si todo ha ido bien
    If Not siAbierto Then Worksheets(iL).Close ' Lo cierra si no estaba abierto antes
Else
    resp = False
End If
LeeDatos = resp
Application.DisplayAlerts = True
Exit Function

SiErrorLeeDatos:
    Resume Next

End Function
    
```

Obsérvese que, con este código, además de lo directamente relacionado con su objetivo principal, se aprende a llevar control de errores (instrucción On Error), a usar MsgBox para interactuar con el usuario, a copiar y pegar datos entre hojas y a inhabilitar alertas y mensaje por defecto.

Finalmente, el botón de la hoja "Datos" (Figura 23) se asocia a lo siguiente

```

Public Sub BotonArchivo()
    Dim resp As Boolean
    If Worksheets("Datos").Range("E31").Value = 1 Then
        resp = LeeDatos(Range("F28").Value)
    Else
        resp = LeeDatos(Range("F29").Value)
    End If
    If resp Then
        Rellena ' Con esto se actualizará todo el libro
        CreaArchivoLog
    End If
End Sub
    
```

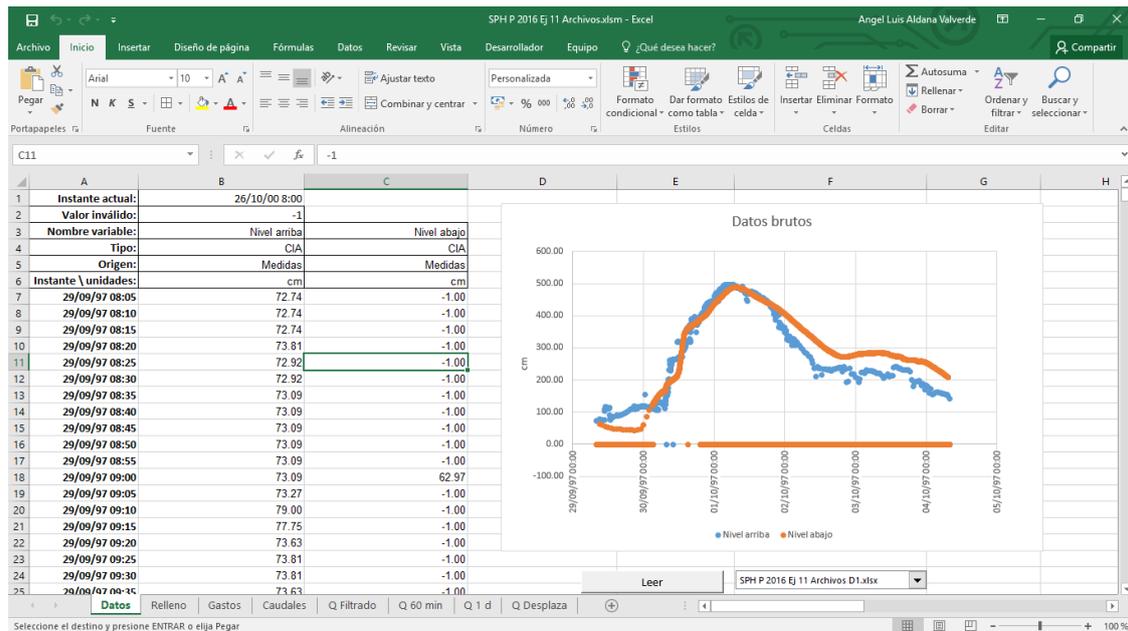


Figura 23.- Ventana con opción de selección de cambio de datos por medio de controles

12 Acceso a bases de datos

Desde Excel se puede acceder a bases de datos, a través de su interfase de usuario estándar, pero también por código. En un apartado posterior (13.1) se describe un ejemplo que se basa en acceso a base de datos para actualizar las series temporales en las hojas de cálculo. Los procedimientos que se usaron en ese caso recurren a las clases `ADODB.Connection` y `ADODB.Recordset`.

El modo de usarlo depende del tipo y la estructura de la base de datos. Pero en la web de desarrollo de Excel pueden encontrarse ejemplos.

13 Ejemplos de desarrollos avanzados con MS-Excel y VBA

Se presentan a continuación algunos desarrollos avanzados que ilustran cómo es posible generar aplicaciones complejas con MS-Excel y unos conocimientos en programación no necesariamente muy avanzados.

13.1 GENAPROFI. - Generación automática de productos

Esta aplicación fue desarrollada en el año 2014 para generar de manera automática y continua (cíclica) productos de monitoreo y pronóstico. Estos trabajos formaron parte de la consultoría que el autor realizó para CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) de México en el marco del programa PREMIA (ver <http://www.omm-mex.info/>) apoyado por la OMM (Organización Meteorológica Mundial).

Inicialmente, se implementaron soluciones para el monitoreo, dado que el primer paso necesario es preparar herramientas de vigilancia [Bases SPH 2015 – 7.3 – La importancia de la vigilancia]. Pero en una segunda fase, en el año 2015, se añadió una solución para el pronóstico (ver 13.2).

13.1.1 Concepción global del sistema

El sistema de generación automática de productos se ha basado en el planteamiento de definir una solución que cumple los siguientes requisitos:

- Bajo coste, usando recursos informáticos ya existentes
- La ampliación y el mantenimiento se realiza con medios propios de centro
- Se basa en acceso a una base de datos
- Los usuarios avanzados pueden modificarlo y ampliarlo

Aunque se trate de un software modesto, ha demostrado su utilidad, y en el año 2015, montado sobre un ordenador de sobremesa convencional, hacía un total de consultas diarias tales que permitían la recuperación de 31,528,080 datos, y generaba diariamente 257,364,720 valores resultados.

La siguiente tabla ilustra con algunas cifras el volumen de las operaciones que realiza.

	Cortes de lluvias 3 días	Cortes de lluvias desde las 8:00 a horas fijas	Datos diarios	Peñitas	Previsión en El Sabinal
Variables 2015	228	228	104	17	28

Discretización temporal	10 min	10 min	1440 min (1 día)	10 min	10 min
Intervalos	432	Variable hasta 145	30	144	144
Acumulaciones	1, 3, 6, 12, 24 y 48 horas	De inicio a fin	1, 2, 7 y 30 días	20, 60 y 120 min en 3 subcuencas y 9 pluviómetros	10 30 60 y 240 min en 19 pluviómetros y 12 subcuencas
Resumen	Máximo, mínimo, último dato	Máximo, mínimo, último dato	Máximo, mínimo, último dato	Máximo, mínimo, último dato	Máximo, mínimo, último dato
Tendencias (cálculo o extrapolación)			1 intervalo	1 hora y 24 horas	1 hora en 6 tirantes
Precipitaciones en subcuencas				3 subcuencas	13 subcuencas
Laminación en embalse				Peñitas	
Caudal con medida de velocidad					3 estaciones
Caudales por curva de gasto					6 estaciones
Previsiones					3 escenarios futuros en 6 estaciones
Huecos				Si	Si
Actualización	10 min	8:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21:00	10 min	10 min	10 min
Datos consultados por actualización	98,496	98,496	3,120	2,448	4,032
Valores resultado por actualización	1,083,456	590,976	31,200	12,854	13,168
Datos consultados por día	14,183,424	492,480	449,280	352,512	580,608
Valores resultado por día	156,017,664	2,954,880	4,492,800	1,850,976	1,896,192

Tabla 1.- Ejemplo de cifras asociadas a la generación de algunos productos

13.1.2 Recursos empleados

El sistema se desarrolló sobre MS-Excel y MS-PowerPoint, programando con VBA, las páginas web se editaron con Notepad (editor de texto del sistema operativo), y

los mapas se han generado con el software libre y abierto QGIS (Sistema de Información Geográfica, <http://www.qgis.org>).

13.1.3 Denominación

El sistema se ha denominado GENAPROFI (Generador Automático de Productos basado en Ofimática)

13.1.4 Tipos de productos

Hay muchos tipos de productos que se pueden generar con el procedimiento establecido, aunque en principio se distinguen los siguientes

13.1.4.1 Productos según su función

Tres grupos principales:

- Presentación y difusión de datos diarios.
- Presentación y difusión de datos de estaciones automáticas. - La información correspondiente a las estaciones automáticas tiene singularidades importantes, respecto a la de las estaciones manuales. Por ello hay que concebir utilidades concebidas especialmente para ellas, como las orientadas al trabajo con discretizaciones temporales pequeñas.
- Control de calidad de la información. - El día a día de un centro de proceso de datos hidrológicos debe incluir tareas de validación de datos. Se trata de labores tediosas pero necesarias, por lo que se impone la necesidad de utilidades automáticas, tanto para las estaciones automáticas como para las manuales.

13.1.4.2 Formatos de productos

Los resultados se presentan en los siguientes formatos:

- Archivos PDF (boletines)
- Gráficos GIF para monitorear procesos (en las pantallas) o para difusión en web
- Datos en formato XLSX y sus correspondientes en formato texto CSV

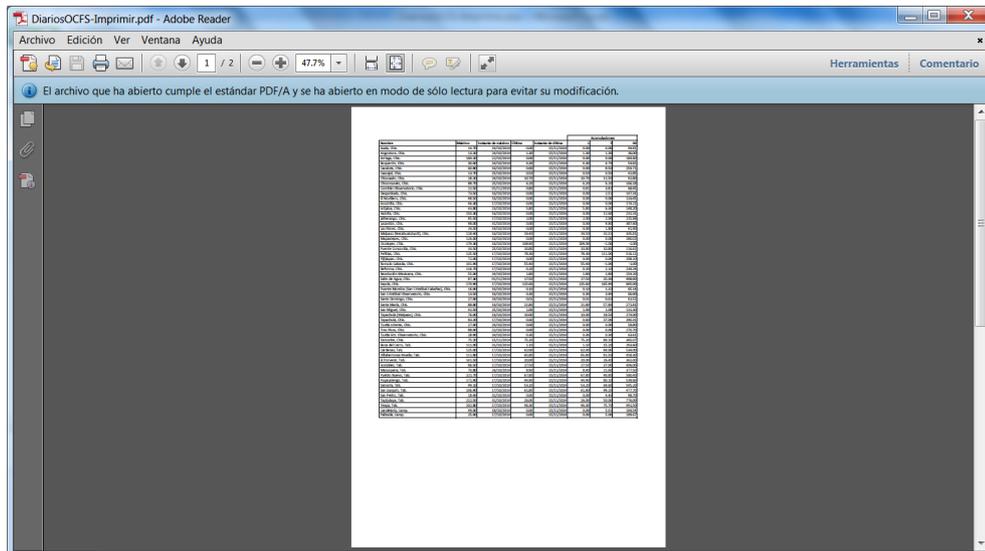


Figura 24.- Ejemplo de boletín de datos diarios correspondientes con datos en forma de tabla, incluyendo síntesis de información de un periodo determinado

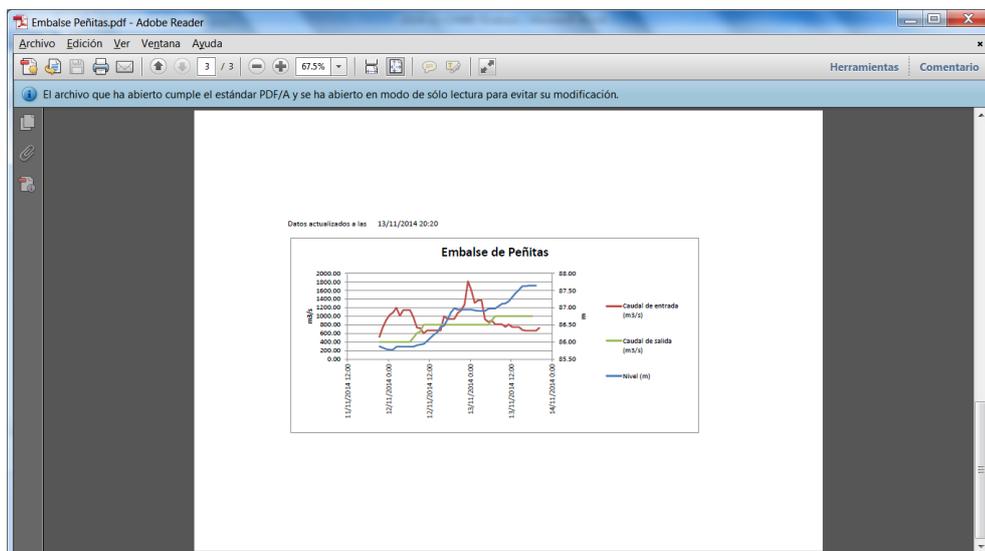


Figura 25.- Ejemplo de presentación en forma de gráficos, de datos y resultados de cálculo sobre la base de información de estaciones automáticas

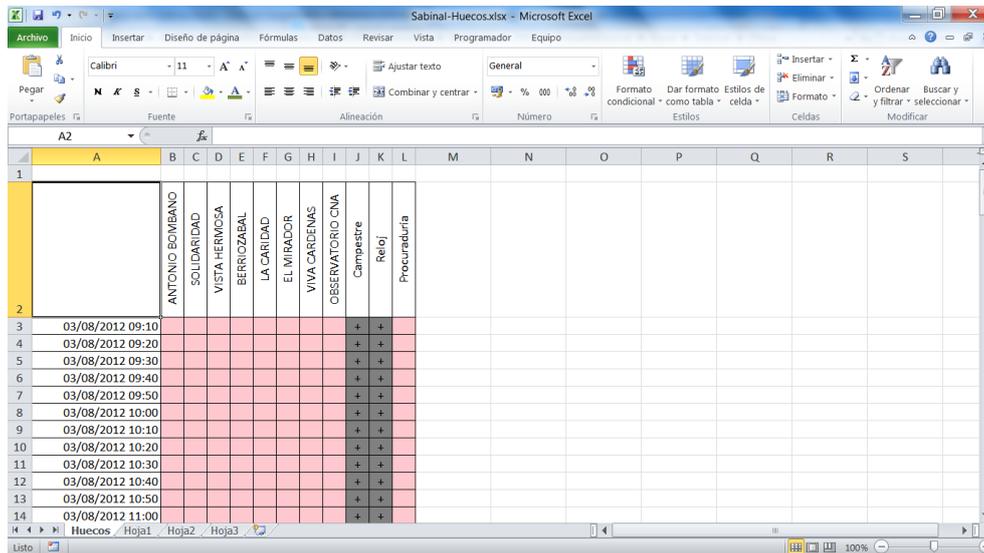


Figura 26.- Ejemplo de utilidad para el control de calidad de información.

13.1.5 Modos de uso

El sistema ha sido concebido para su uso en modo automático, accediendo a los datos más recientes de la base de datos:

- Cíclico (a intervalos regulares)
- A horas determinadas del día

Pero también es posible generar productos en modo manual con indicación de la fecha concreta que se desee.

13.1.6 Utilidades incorporadas al sistema

Se han implementado un conjunto de utilidades:

- Para manejo de datos
 - Cargador de información de la base de datos. - Hay un procedimiento genérico que busca las claves de las búsquedas en los encabezados de fila y columna de una tabla, y hace las consultas necesarias a la base de datos y rellena el resto de las celdas con los valores encontrados. Esta tabla debe estar en la hoja "Datos" de los archivos de cálculo (ver apartados posteriores) y el código entenderá los finales de filas y columnas cuando encuentra una celda en blanco en dichas filas y columnas, por lo que la ampliación de una nueva variable consiste en añadir los encabezados de la columna, y para cambiar los intervalos de tiempo basta con añadir o quitar filas.

- Obtención de valores extremos. - Hay algunos procedimientos que sirven para obtener el valor y el instante en el que se detecta un máximo o mínimo en la variable correspondiente, en el intervalo de tiempo elegido, así como para localizar el último valor válido.
- Calidad de información.
 - Filtros. - Incorpora utilidades para aplicar filtros de media móvil a series temporales.
 - Relleno de huecos.
 - Por interpolación. - Los huecos en las variables dato pueden rellenarse por interpolación lineal, partiendo de los puntos de instantes más cercanos con valores válidos. En los extremos, se asigna valor constante igual al más próximo (más reciente o más antiguo, según corresponda).
 - Por reparto volumétrico. - Se supone que durante un periodo sin datos algunos pluviómetros proporcionan el valor acumulado, por lo que se reparte la precipitación en tiempo (hasta una longitud máxima de tiempo)
- Para cálculos
 - Interpolador. - Permite realizar interpolaciones en tablas de batimetría o curvas de gasto, por ejemplo.
 - Acumulaciones. - Este procedimiento permite el cálculo de acumulaciones de precipitaciones en los intervalos que elija el usuario. Asume una tolerancia a huecos (registros con falta de datos) expresada en porcentaje (configurable), y asume, como criterio de relleno, que en ellos el valor sea igual al medio en todo el intervalo.
 - Balance en embalses. - Se han desarrollado procedimientos de cálculos de laminación en embalse que resultan en el caudal de entrada al mismo.
 - Ponderaciones. - Las precipitaciones areales en subcuencas pueden calcularse por medias ponderadas de los valores en pluviómetros, con el uso de un procedimiento desarrollado a propósito.
 - Cálculos de tendencias por regresión. - Puesto que las variables de las estaciones automáticas pueden incluir oscilaciones asociadas a las dificultades de medida (o a la naturaleza de la variable), se propone el cálculo de tendencias (útiles en los intervalos finales) con un método de regresión lineal. Se han incluido ejemplos para ello.

- Otros. - Hay otras utilidades para las funciones de apertura, impresión, manejo de archivos, etc.

Muchas de estas utilidades están programadas con la consideración de que puedan existir valores inválidos o huecos en los registros correspondientes.

13.1.7 Aplicación e interés

Con estos desarrollos se pueden solucionar diferentes tipos de problemas de la hidrología operacional:

- Relleno y corrección de datos
- Trabajo simultáneo con series con distintas discretizaciones o referencias temporales
- Precipitaciones areales en subcuencas
- Caudales y volúmenes por tablas
- Caudales a partir de velocidad y nivel
- Balance en embalses
- Acumulaciones de precipitaciones en distintos intervalos
- Selección de pluviómetros o subcuencas con mayores precipitaciones
- Previsión de niveles basada en tendencias

La automatización permite liberar capacidades humanas para la realización de tareas complejas.

13.1.8 Estructura de archivos

El sistema se puede subdividir en dos subsistemas: el de generación, propiamente dicho, y el de difusión.

13.1.8.1 Subsistema de generación

Los archivos fundamentales del subsistema de generación son:

- Archivo motor (extensión XLSM)
- Archivos de productos
- Archivo de cálculos (extensión XLSM)
- Archivo de impresión (extensión XLSX y nombre el de cálculo añadiendo "-Imprimir")
- Archivos de pantalla (extensiones XLSX y PPTX y nombre el de cálculo añadiendo "-Pantalla")

Las extensiones XLSM se corresponden a archivos MS-Excel con macros (escritas en lenguaje VBA), las XLSX a libros sin macros y PPTX a presentaciones de MS-Power-Point.

13.1.9 Estructura de archivos y directorios (carpetas)

El archivo motor se situará en un directorio (carpeta) que se denominará principal. Cada producto tendrá su correspondiente subcarpeta, y los resultados para publicación se almacenarán en unos directorios PDF, GIF y de datos. Estos directorios se indican en la hoja "Directorios" del libro motor.

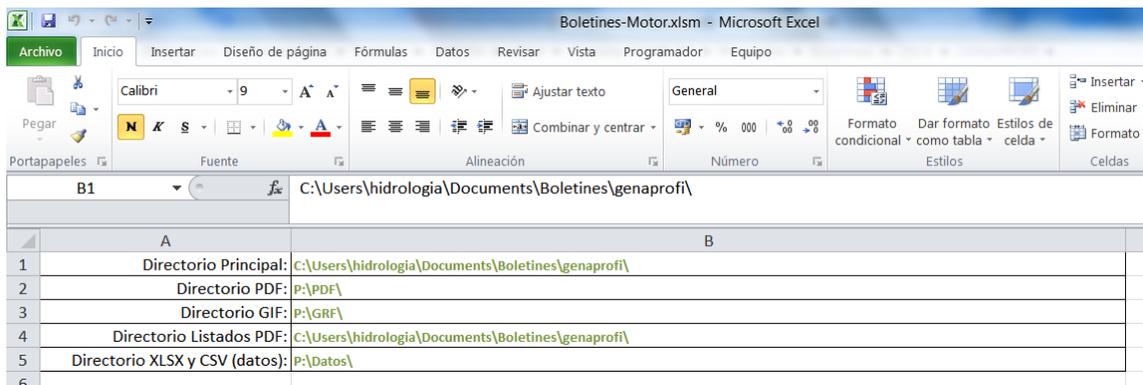


Figura 27: Especificación de directorios en el libro motor.

La subcarpeta de cada producto se indicará en la hoja "Lista ciclo", para los productos que se generan cíclicamente a intervalos regulares, y en la hoja "Lista Inst", para los productos que se generan a horas fijas del día. Se creará, en la de cada producto, otra subcarpeta denominada GRF que será donde se vayan almacenando los archivos gráficos. En estas mismas hojas se indicarán los nombres de los productos PDF y los de las subcarpetas en los directorios de publicación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Recorrer	Hora consulta:	29/12/2014 11:10						
2	Subcarpeta	Libro principal	Nombre PDF	Generar PDF (S/N)	Subcarpeta GRF en la subcarpeta de publicación	Generar GRF (S/N)	Nombre XLSX y CSV	Generar XLSX y CSV (S/N)	Última publicación
3	Peñitas\	Peñitas.xlsm	Embalse Peñitas.pdf	S	Peñitas\	S	DatosPeñitas	S	12/12/2014 19:32
4	Sabinal\	Sabinal.xlsm	El Sabinal.pdf	S	El Sabinal\	S	DatosSabinal	S	12/12/2014 19:32
5	Diarios\	DiariosOCFS.xlsm	Datos diarios.pdf	S	Datos Diarios\	S	DatosDiarios	S	12/12/2014 19:32
6	Cortes Lluvias\	Cortes Lluvias.xlsm	Cortes de lluvias.pdf	S	Cortes Lluvias\	S	DatosCortes	S	12/12/2014 19:33
7	Cortes LluviasDesde8\	Cortes LluviasDesde8.xlsm	Cortes de lluvias desde 8.pdf	S	Cortes LluviasDesde8\	S	DatosCortes8	S	12/12/2014 19:33

Figura 28.- Especificaciones para los productos que se generan cíclicamente a intervalos regulares (hoja "Lista Ciclo")

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Recorrer	Desfase forzado (minutos):	10							
2	Subcarpeta	Libro principal	Nombre PDF	Generar PDF (S/N)	Subcarpeta GRF en la subcarpeta de	Generar GRF (S/N)	Nombre XLSX y CSV	Generar XLSX y CSV (S/N)	Hora publicación	Última publicación
3	Cortes LluviasDesde8	Cortes LluviasDesde8.xlsm	Cortes de lluviasDesde8.pdf	S	Cortes Lluvias H	S	DatosCortes8	S	8:00	12/12/2014 8:14
4	Cortes LluviasDesde8	Cortes LluviasDesde8.xlsm	Cortes de lluviasDesde8.pdf	S	Cortes Lluvias H	S	DatosCortes8	S	12:00	12/12/2014 12:14
5	Cortes LluviasDesde8	Cortes LluviasDesde8.xlsm	Cortes de lluviasDesde8.pdf	S	Cortes Lluvias H	S	DatosCortes8	S	15:00	12/12/2014 15:14
6	Cortes LluviasDesde8	Cortes LluviasDesde8.xlsm	Cortes de lluviasDesde8.pdf	S	Cortes Lluvias H	S	DatosCortes8	S	18:00	12/12/2014 18:13
7	Cortes LluviasDesde8	Cortes LluviasDesde8.xlsm	Cortes de lluviasDesde8.pdf	S	Cortes Lluvias H	S	DatosCortes8	S	21:00	11/12/2014 21:14
8										

Figura 29.- Especificaciones para los productos que se generan a horas fijas del día (hoja "Lista Inst")

Los resultados se generan en la subcarpeta de cada producto, pero el motor será el responsable de copiarlos a los directorios de publicación.

Así, la subcarpeta de un producto se verá como en la figura siguiente (ejemplo del producto Diarios), en la que

- DiariosOCFS.xlsm es el archivo de cálculos,
- DiariosOCFS-Imprimir.xlsx es el archivo que define lo que va a contener el archivo PDF de difusión.
- DiariosOCFS-Pantalla.xlsx es el libro que contiene los gráficos y tablas a publicar como archivo gráfico (bitmap)
- DiariosOCFS-Pantalla.pptx define cada archivo gráfico (cada diapositiva será un bitmap).
- PDFaDIRPDF.PDF será el resultado en formato PDF para difusión que será renombrado por el motor con el nombre indicado en las hojas "Listado Ciclo" o "Listado Inst" al copiarlo al directorio de publicación
- Datos.CSV y Datos.XLSX son los archivos con los datos básicos de las estaciones que serán destinados a difusión (el motor los renombrará como DatosDiarios.CSV y DatosDiarios.XLSX)
- El directorio GRF contendrá los archivos gráficos

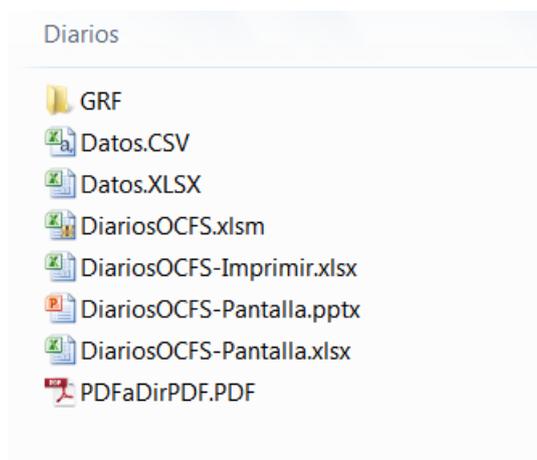


Figura 30.- Subcarpeta de un producto

13.1.9.1.1 Subsistema de publicación o difusión

El subsistema de difusión parte de una página principal denominada Productos.htm

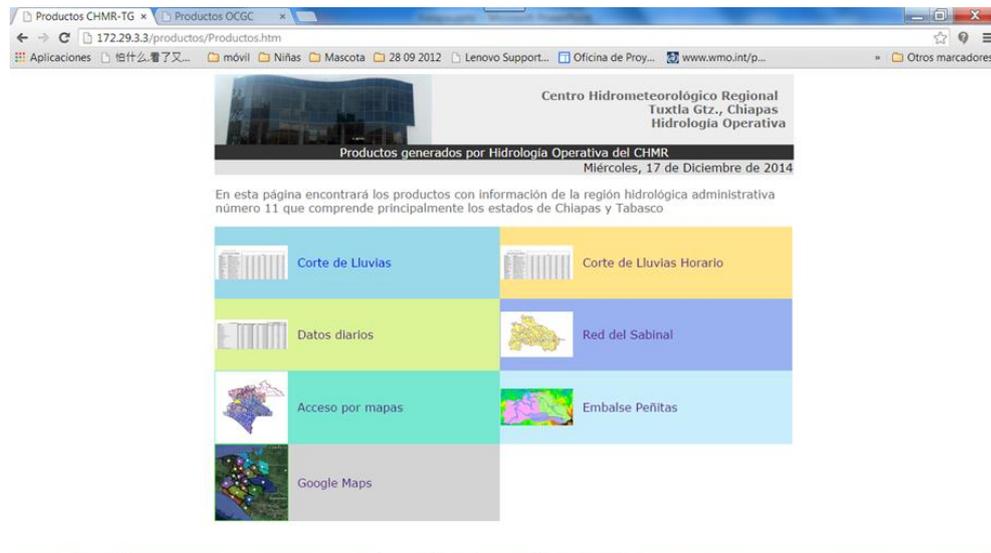


Figura 31.- Página principal de difusión (caso CHMR-TG)

Cada producto tiene su página web, en la que se insertan los archivos gráficos generados y se incluyen los enlaces a los archivos PDF. Los archivos de datos XLSX y CSV se almacenan en una carpeta "Datos", los PDF y los bitmaps también tienen sus correspondientes carpetas ("PDF" y "GRF", respectivamente). También se puede ofrecer acceso a otra información, como informes o estudios, que se incluirán en la carpeta "Otros". Las páginas web necesitarán otras imágenes, que se incluirán en la carpeta ("imagenes").

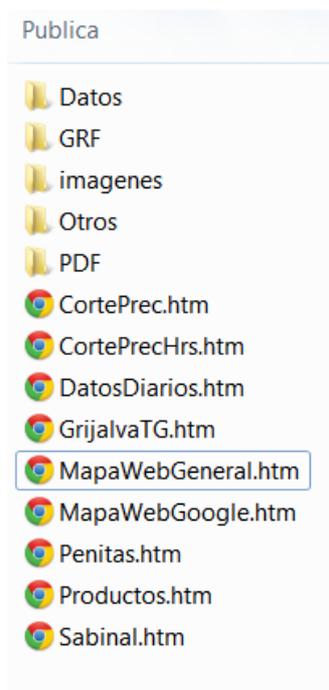


Figura 32.- Carpeta de difusión con páginas web

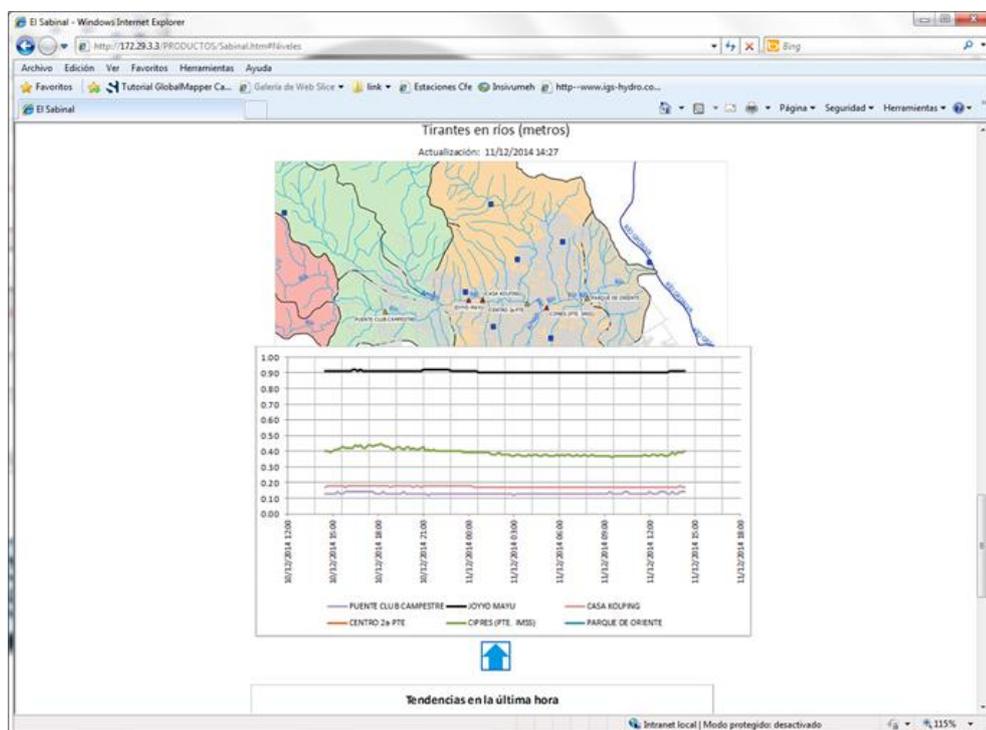
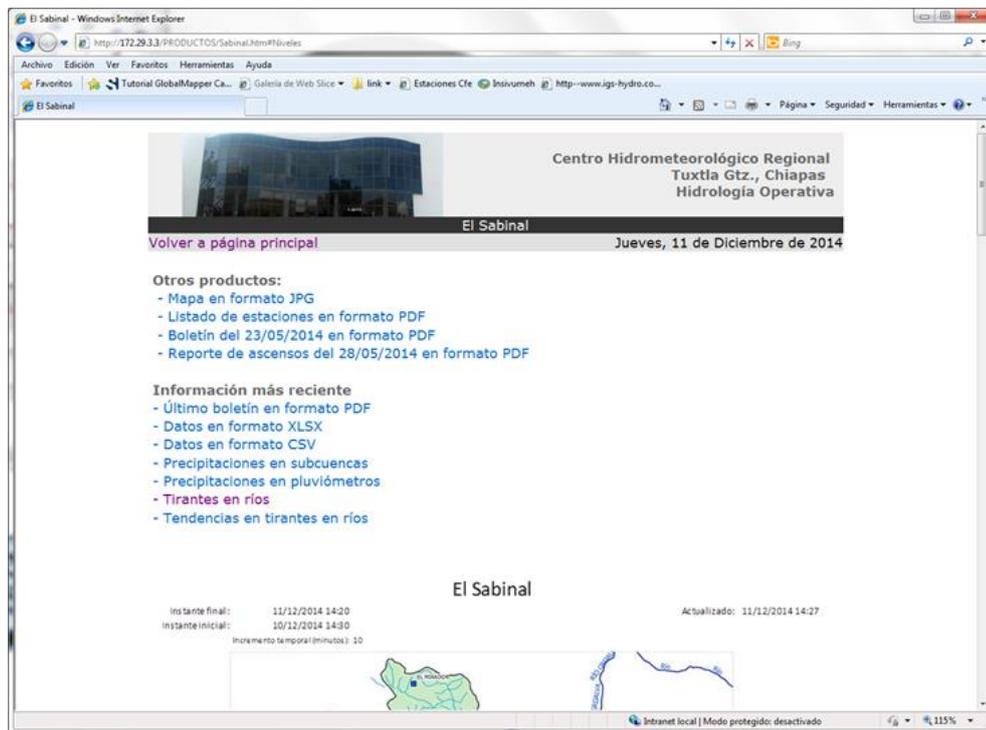


Figura 33.- Página web de un producto (caso: El Sabinal)

13.1.10 Flujo de ejecución

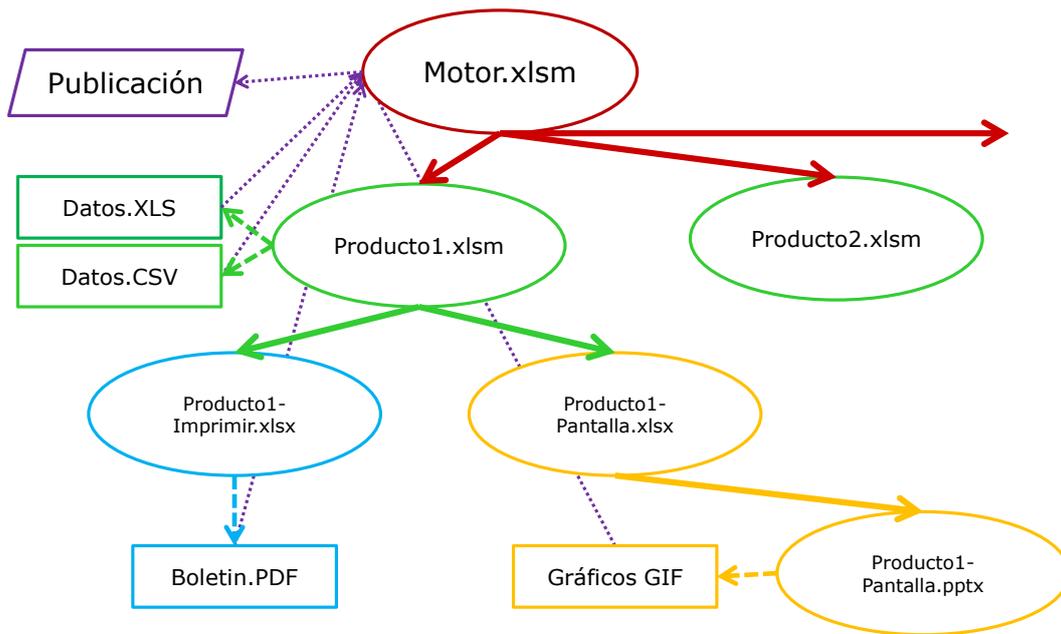


Figura 34.- Esquema de flujos de ejecución de programas y generación de productos

13.1.10.1 Archivo motor

El archivo motor incluye código para recorrer un conjunto de archivos y realizar las siguientes acciones:

- Abrir el archivo de cálculos de cada producto (ver el siguiente apartado 13.1.10.2)
- Indicar el instante (fecha y hora) de actualización de datos.
- Ordenar que se ejecute el procedimiento "ActualizaYPDF" que todo archivo de cálculo debe incluir. Este procedimiento incluirá, a su vez, las órdenes para la apertura, actualización de datos, cálculos y generación de archivos de datos CSV, XLSX (para difusión), el archivo PDF desde el archivo de impresión (ver el siguiente apartado 13.1.10.3) y los archivos gráficos.
- Cierre del archivo de cálculos.
- Escribir la traza de las acciones realizadas con indicación de instantes
- Escribir la traza de errores (en caso de que se presenten)
- Copiar el archivo PDF generado, que siempre aparecerá en la subcarpeta correspondiente con el nombre de "PDFaDirPDF.PDF", a la dirección de publicación
- Copiar los archivos gráficos del directorio GRF al directorio de publicación
- Copiar los archivos de datos (Datos.CSV y Datos.XLSX) a la carpeta de publicación con el nombre elegido.

Desde las hojas de especificaciones "Lista Ciclo" y "Lista Inst" se puede ordenar, haciendo click en el botón que aparece en ellas, que se ejecute el recorrido de cálculos y generación del listado de productos correspondiente. Pero desde la hoja ciclos, se inicia un proceso que realizará las operaciones a intervalos regulares. En cada ciclo se generarán todos los productos incluidos en "Lista Ciclo", y se comprobará si es la hora de que se genere alguno de los incluidos en "Lista Inst".

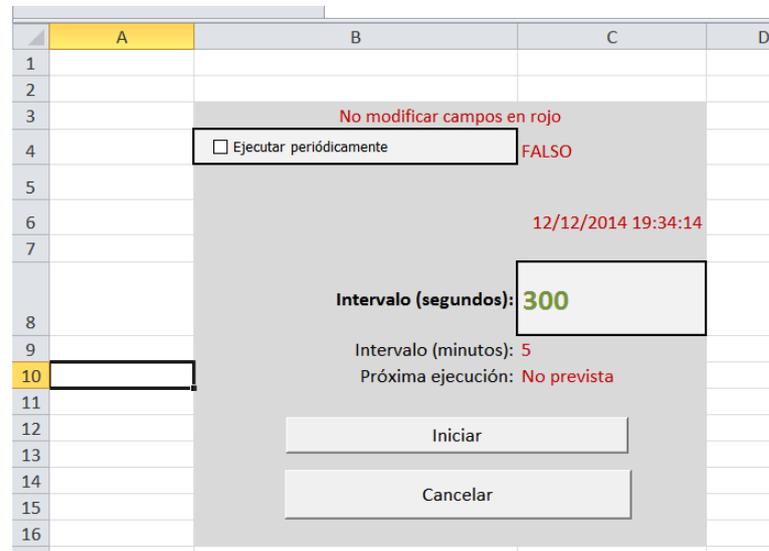


Figura 35.- Hoja de indicación de recorridos periódicos en las órdenes de actualización y generación

Para poner en marcha estos ciclos hay que especificar el intervalo, activar la casilla de "Ejecución periódica" y hacer click en el botón "Iniciar"

13.1.10.2 Archivos de cálculos

Los archivos de cálculo incluyen código para realizar diferentes acciones:

- Actualización de datos, desde la base de datos de SIH
- Cálculos
- Generación de archivos de datos para publicación
- Apertura del archivo de impresión, orden generación de PDF y cierre.
- Apertura de los archivos de pantalla (XLSX y PPTX), orden generación de gráficos y cierre.

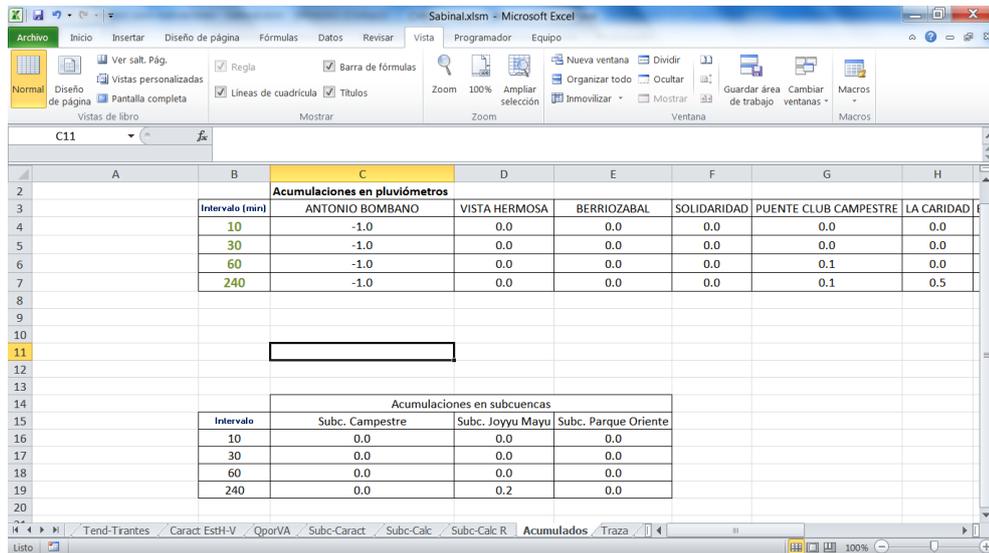


Figura 38.- Ejemplo de hoja de algunos cálculos en archivo de producto, caso de cálculo de precipitaciones en subcuencas

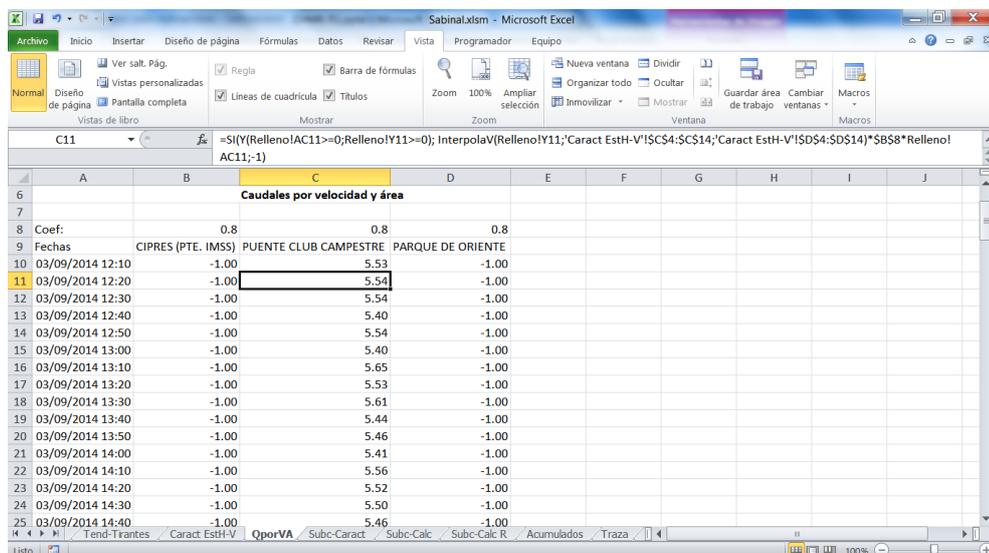


Figura 39.- Ejemplo de hoja de algunos cálculos en archivo de producto, caso de cálculo de caudales a partir de medidas de velocidad

13.1.10.3 Archivos de impresión

Los archivos de impresión no incluyen código y la forma de construir su nombre es fija a partir del nombre del archivo de cálculo de que depende. Sus contenidos estarán vinculados a los campos del archivo de cálculo.

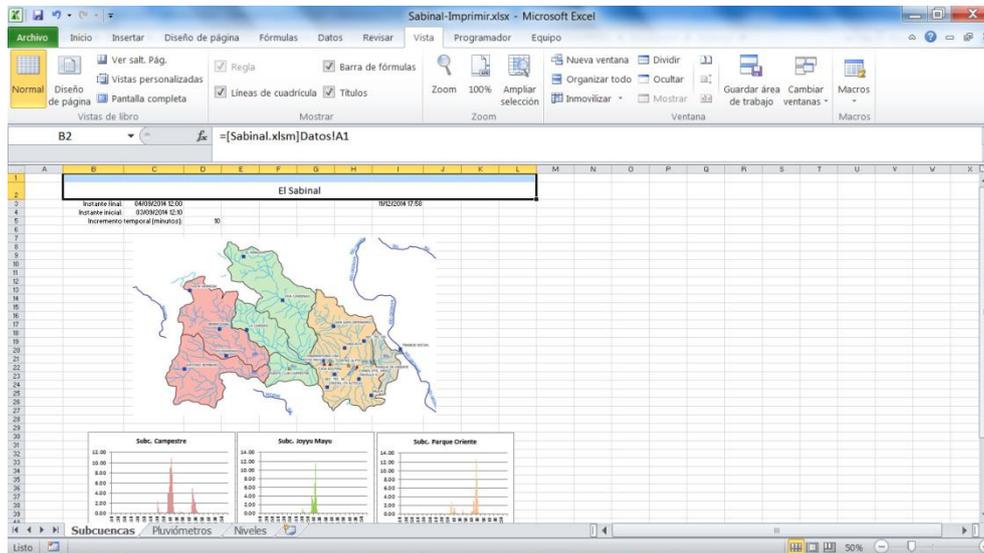


Figura 40.- Ejemplo de hoja de impresión en la que se incluyen mapas y gráficos.

Nombre	Máximo	Instante de máximo	Último	Instante de último	Acumulaciones		
					2	7	30
Acala, Chis.	14.70	24/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	0.00	49.81
Angostura, Chis.	13.20	24/10/2014	1.30	15/11/2014	1.30	1.30	36.00
Arriaga, Chis.	104.20	22/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	0.00	184.60
Boquerón, Chis.	30.00	24/10/2014	4.30	15/11/2014	4.30	4.70	54.82
Cacaluta, Chis.	60.80	16/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	8.50	259.71
Cascajal, Chis.	13.70	25/10/2014	0.50	15/11/2014	0.50	0.50	42.85
Chicoasén, Chis.	28.20	24/10/2014	10.70	15/11/2014	10.70	11.50	92.80
Chicomuselo, Chis.	88.70	25/10/2014	6.20	15/11/2014	6.20	6.20	166.18
Comitán Observatorio, Chis.	21.50	01/11/2014	0.80	15/11/2014	0.81	3.82	68.45
Despoblado, Chis.	73.50	16/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	2.51	147.31
El Novillero, Chis.	98.50	16/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	0.00	133.45
Escuintla, Chis.	46.30	17/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	0.00	174.21
Grijalva, Chis.	43.80	23/10/2014	5.80	15/11/2014	5.80	6.30	148.20
Huixtla, Chis.	150.30	16/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	12.60	231.31
Jaltenango, Chis.	95.50	17/10/2014	2.00	15/11/2014	2.00	2.00	215.69
Lacantún, Chis.	98.00	31/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	9.80	387.60
Las Flores, Chis.	24.50	19/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	1.80	91.90
Malpaso (Nezahualcōyotl), Chis.	118.40	16/10/2014	19.40	15/11/2014	19.50	32.01	335.81
Manastenec, Chis.	126.00	16/10/2014	0.00	15/11/2014	0.00	0.00	200.02

Figura 41.- Ejemplo de hoja de impresión en la que se transponen tablas del archivo de cálculos.

13.1.10.4 Archivos de pantalla

El archivo de pantalla tipo libro de Excel (productoX-Pantalla.XLSX) se usa para preparar gráficos, tablas y elementos que se consideren apropiados para generar gráficos. Todo cuanto aparezca en este archivo estará vinculado al archivo de cálculos. Cada archivo gráfico se generará a partir de una diapositiva de PowerPoint en el archivo productoX-Pantalla.PPTX, en la que se habrá pegado (con la opción pegar vínculo desde el archivo XLSX) contenido que se ha preparado para tal fin.

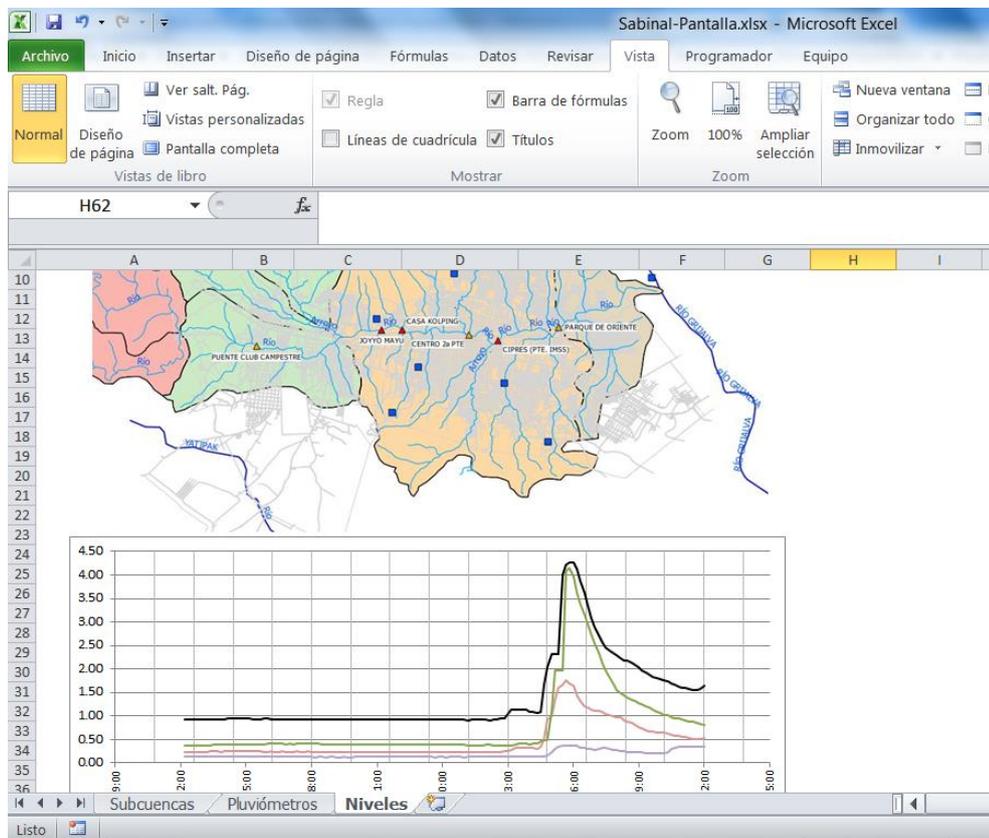


Figura 42.- Ejemplo de una de las hojas de un archivo XLSX de pantalla

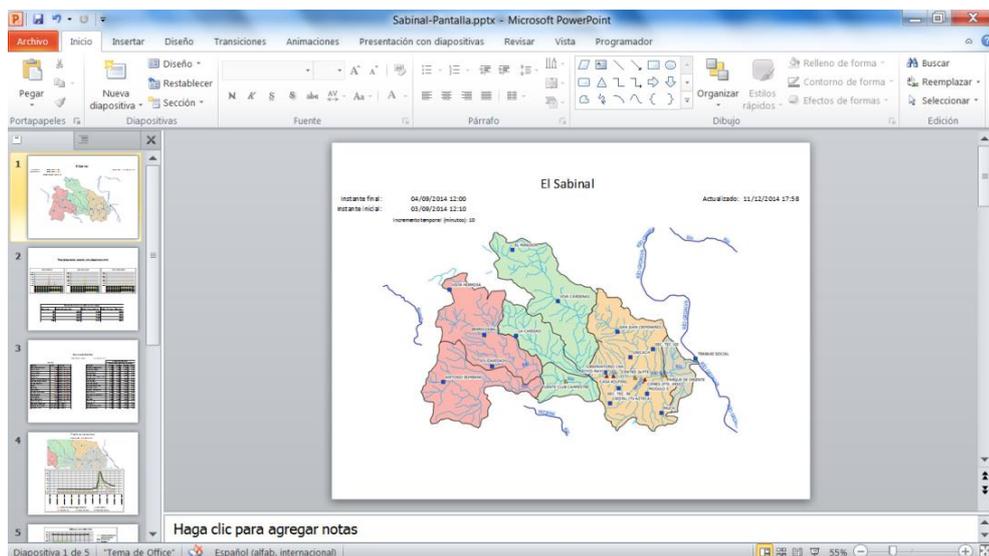


Figura 43.- Ejemplo de un archivo PPTX de pantalla

13.1.11 Difusión de los productos

Tal y como se indicó anteriormente, se preparan (con un simple editor de texto) los archivos de páginas web de cada producto, con enlaces al archivo PDF correspondiente y a los de datos CSV y XLSX, de modo tal que el usuario de la información pueda descargarlos. En cada hoja, se insertan los archivos gráficos generados (a partir de los archivos "Pantalla") con tablas, mapas y otros gráficos.

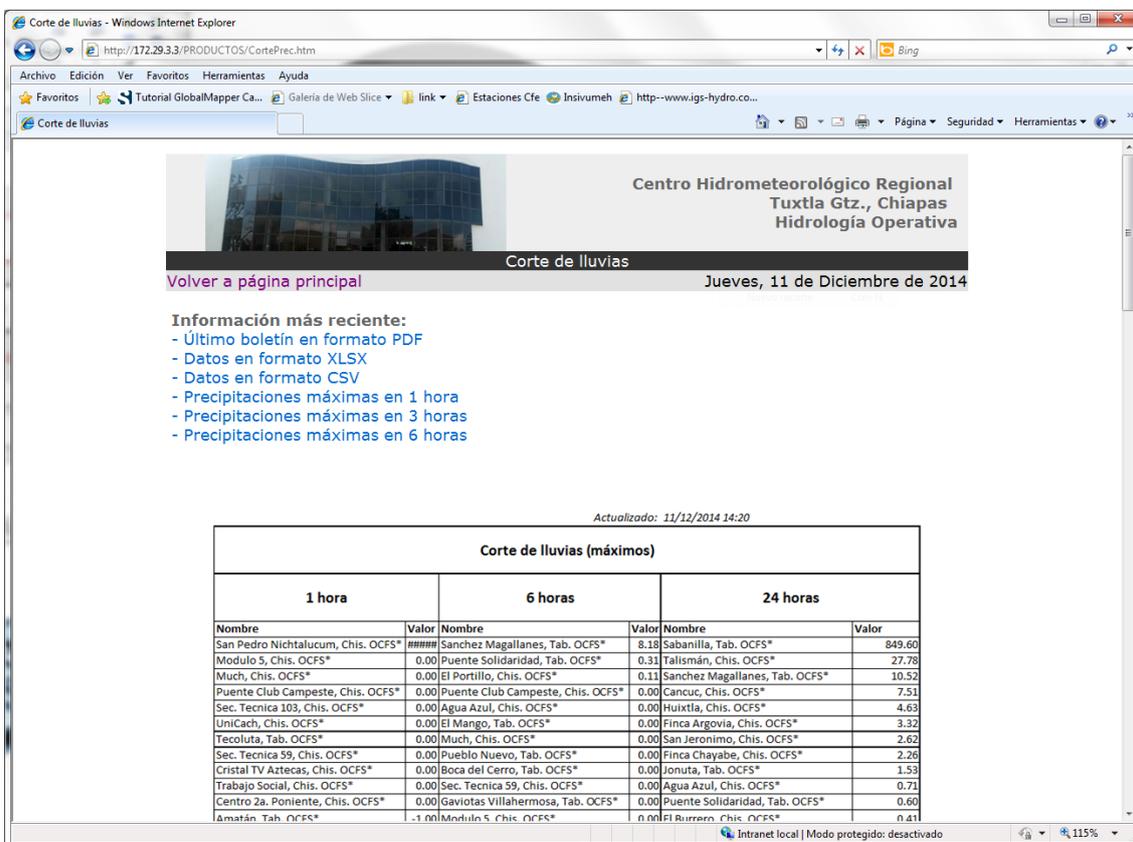


Figura 44.- Ejemplo de página web de producto

13.1.11.1 Acceso a productos (páginas web)

Se puede acceder a cada producto desde un listado incluido en la página principal (Figura 31), pero también por mapas sensibles.

Debe tenerse en cuenta que el número final de productos puede ser elevado, por lo que será necesario hacer diferentes agrupaciones de estaciones según criterios geográficos (criterio recomendado), debido a que se cuenta o contará con una gran cantidad de estaciones de medida. Por ello, las técnicas incluidas para organizar la información por mapas serán de gran utilidad, y finalmente será recomendable considerar varios niveles de agregación espacial.

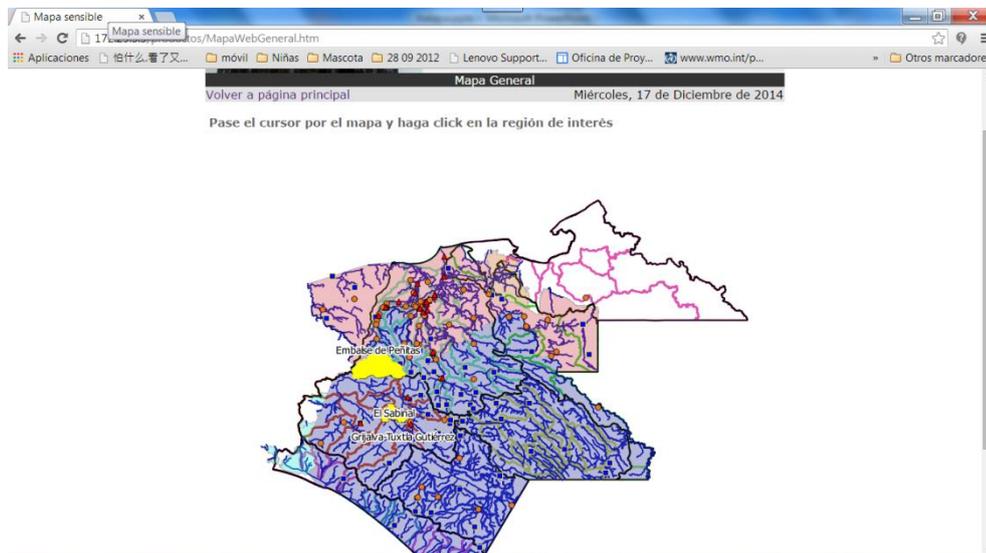


Figura 45.- Página web de acceso a productos a través de mapas sensibles

También se han incluido ejemplos de difusión de información geográfica a través de marcos de Google Maps insertados en páginas web

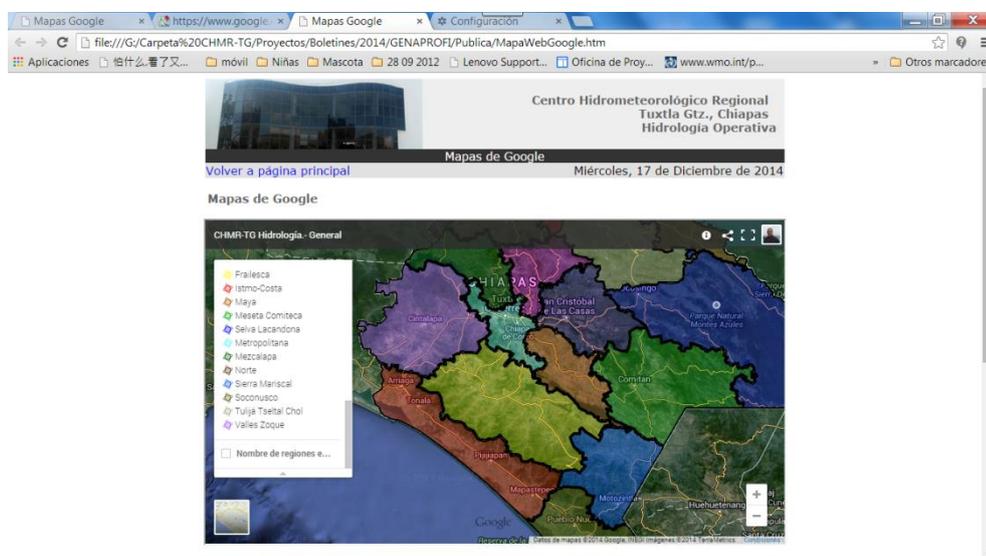


Figura 46.- Página web que incluye marcos de Google Maps para la difusión de información geográfica

13.1.11.2 Inspección y edición de las páginas web

La estructura interna de las páginas web es bastante sencilla, se ha recurrido a los conceptos fundamentales del lenguaje HTML y se ha formado a los hidrólogos en su uso. Todas las páginas de productos son prácticamente iguales, contienen un conjunto de bloques que requieren sustituir algunos campos, lo que puede hacerse con cualquier editor de texto. Para facilitar la consulta e inspección de uno de estos archivos, desde un explorador de Internet, se puede acceder al código de la página con códigos de colores que facilitan su lectura.

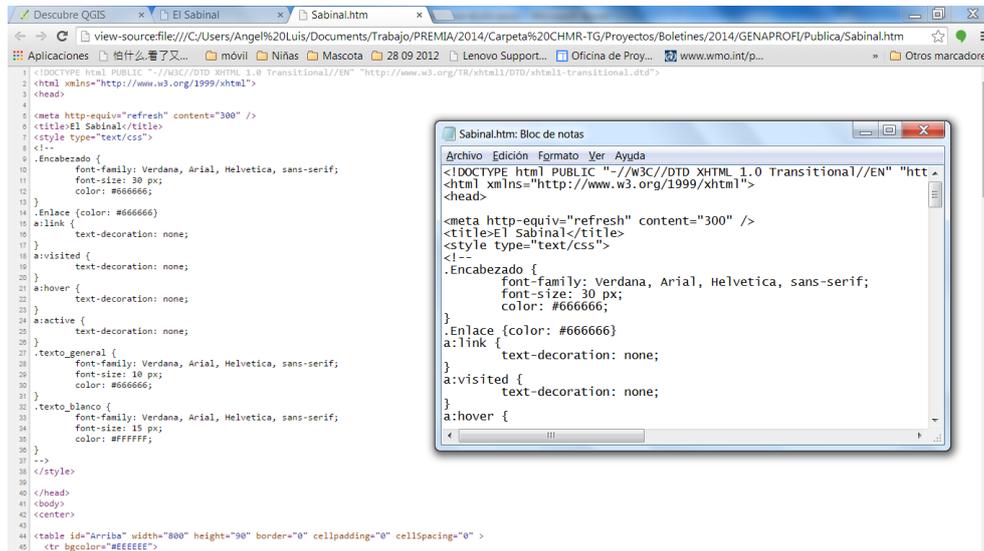


Figura 47.- Visualización del código HTML de una de las páginas de producto desde el explorador de Internet

Pero los exploradores de Internet pueden también incluir utilidades del tipo “Inspeccionar elemento”, que aparecerá en un menú contextual pulsando el botón derecho. Estas funcionalidades son muy útiles para entender el código empleado.

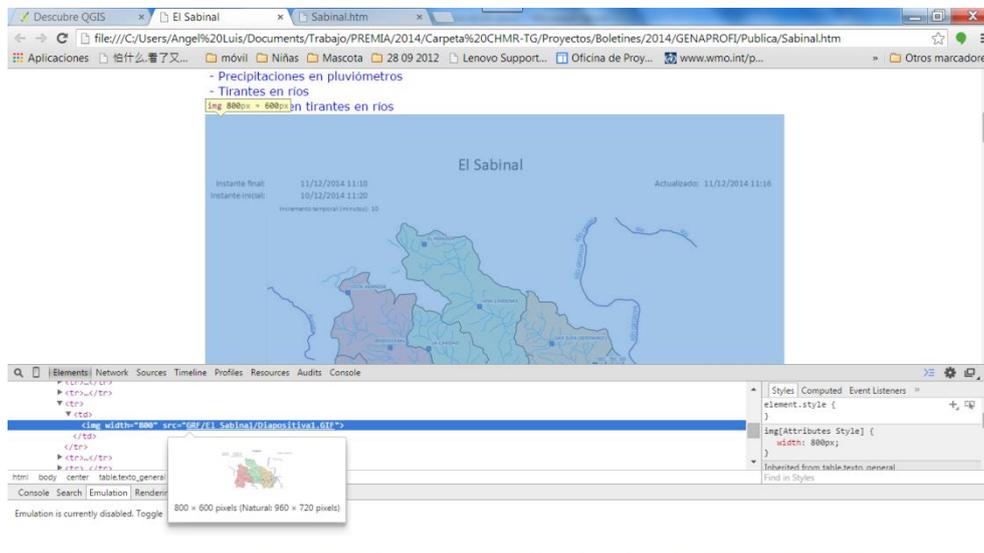


Figura 48.- Inspección de elementos de una de las página de producto desde el explorador de Internet

13.2 Prev-HEX. Modelos de previsión con Excel y aplicaciones

Hec

Entre 2014 y 2015, el autor desarrolla dos aplicaciones de pronóstico hidrológico, para el río Segura (España) y para el río Sabinal (México), que se basan en cálculos en Excel e interacción con las aplicaciones HEC-HMS y HEC-DSS (Hydrologic Engineering Center, <http://www.hec.usace.army.mil>). Esta solución puede funcionar

en modo interactivo o en modo continuo con actualización automática por acceso a una base de datos. Considera escenarios pasados para la calibración automática de los modelos y escenarios futuros para hipótesis de previsión. Estas aplicaciones se denominan PrevEX seguidas del caso de aplicación.

13.2.1 Enfoque de la solución

MS-Excel admite el desarrollo de aplicaciones específicas con automatización de tareas, gracias a la posibilidad que ofrece de usar sus capacidades por programación, usando el lenguaje VBA. Por otra parte, las aplicaciones Hec suelen usarse de forma interactiva a través de sus respectivas interfaces de usuario, pero también admiten ser usadas por comandos, a través de ciertos lenguajes de programación, como Jython (caso de Hec-DSSVue). Esto permite una automatización completa del cálculo de pronóstico hidrológico combinando estas herramientas.

Estas herramientas pueden usarse en modo interactivo, manual, pero con interconexiones de datos y resultados entre módulos según el siguiente esquema (Figura 49).

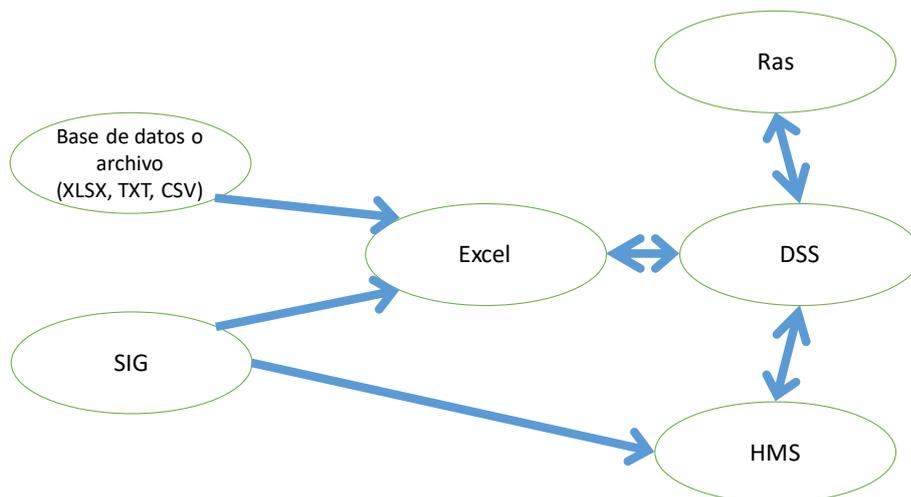


Figura 49. - Esquema de flujos de información entre aplicaciones

Pero gracias a VBA estas tareas de uso simultáneo de diversas utilidades pueden realizarse de forma automática.

13.2.2 Esquema de la automatización

La aplicación Hec-DSSVue está especializada en el tratamiento de series temporales y otros tipos de información. En la aplicación desarrollada se emplea como intermediario para la preparación de la información a ser usada por el modelo hidrológico Hec-HMS. MS-Excel se usa para la carga inicial de datos, algunas tareas

de preproceso (como relleno de huecos o cálculo de algunas variables), en el postproceso y para controlar el funcionamiento del sistema completo. Para esto último, se ha desarrollado código en VBA que a su vez genera archivos de comando del sistema operativo (.bat), scripts de Hec-HMS y código en Jhyton para control de Hec-DSSVue.

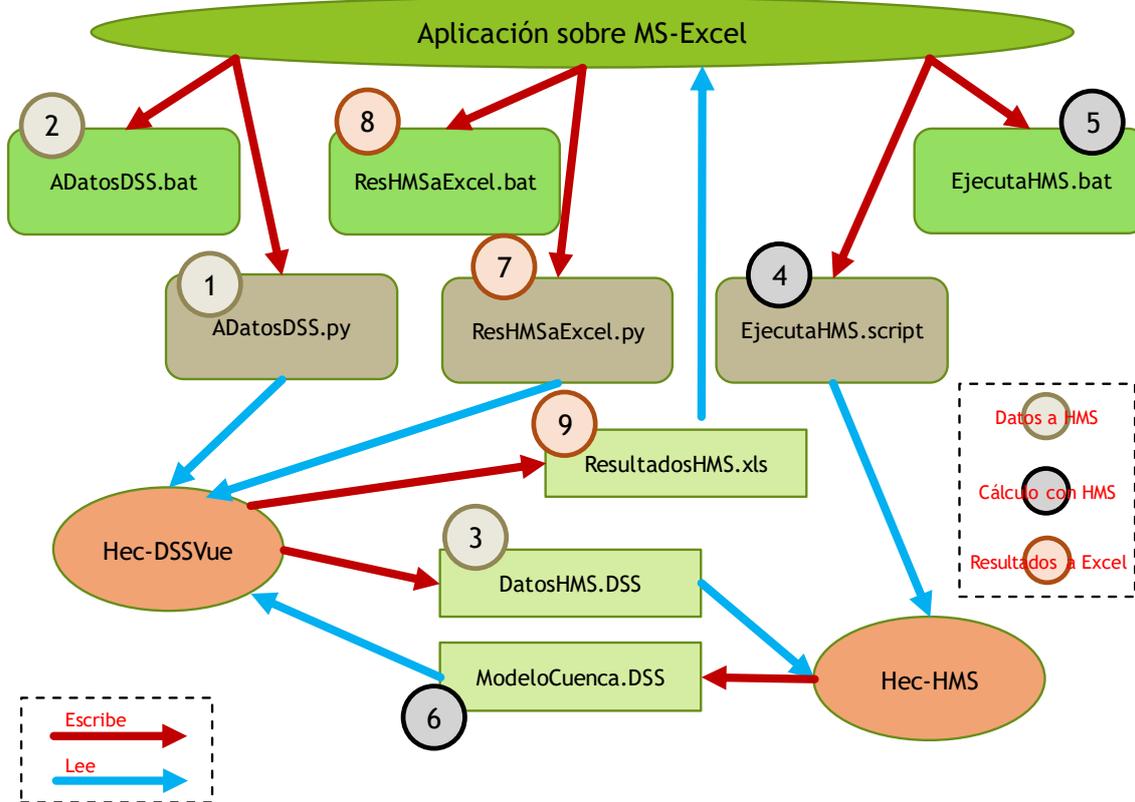


Figura 50. - Esquema de lectura y escritura de archivos de datos, resultados y códigos de ejecución

13.2.3 Carga de datos

La carga de datos (series temporales de las variables de medidas hidrológicas) puede hacer leyendo los datos de hojas de cálculo, de otros libros, de archivos CSV o por acceso a bases de datos (ver capítulo 11). Los datos leídos se incluyen en la hoja "Datos".

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	El Sabinal								
2	Instante final:	21/10/15 1:00	Carga datos		DSN:	SIH			
3	Instante inicial:	20/10/15 1:10			Actualización:	18/11/15 17:52			
4									
5	Incremento temporal (minutos):	10							
6	Código variable (SIH):	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia
7	Código estación (SIH):	CPAB01	CPVH05	CPBE03	CPSO02	PTECLUBCAMP	CPCA04	CPMI07	CPVC06
8	Nombre:	ANTONIO BOMBANO VISTA HERMOSA BERRIOZABAL SOLIDARIDAD PUENTE CLUB CAMPESTRE LA CARIDAD EL MIRADOR VIVA CAI							
9	Intervalo	Instante	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	1	20/10/15 1:10					0.10		
11	2	20/10/15 1:20					0.00		
12	3	20/10/15 1:30					0.10		
13	4	20/10/15 1:40					0.00		
14	5	20/10/15 1:50					0.90		
15	6	20/10/15 2:00					0.60		
16	7	20/10/15 2:10					0.50		
17	8	20/10/15 2:20					0.30		
18	9	20/10/15 2:30					0.30		
19	10	20/10/15 2:40					0.80		
20	11	20/10/15 2:50					0.80		
21	12	20/10/15 3:00					0.20		

Figura 51. - Hoja de carga de datos desde la base de datos (SIH en el caso de aplicación de El Sabinal en México)

13.2.3.1 Relleno de huecos

La siguiente operación es la de relleno de huecos, lo que se realiza por medio de interpolación y el resultado se almacena en la hoja "Relleno".

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	El Sabinal	Relleno	<input checked="" type="checkbox"/> Relleno por reparto volumétrico		<input type="checkbox"/> Rellenar lluvias con interpolación				
2	Instante final:	21/10/15 1:00	VERDADERO		FALSO				
3	Instante inicial:	20/10/15 1:10	Intervalos max:		6				
4	Actualización:	18/11/15 17:52							
5	Incremento temporal (minutos):	10							
6	Código variable (SIH):	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia	Lluvia
7	Código estación (SIH):	CPAB01	CPVH05	CPBE03	CPSO02	PTECLUBCAMP	CPCA04	CPMI07	CPVC06
8	Nombre:	ANTONIO BOMBANO VISTA HERMOSA BERRIOZABAL SOLIDARIDAD PUENTE CLUB CAMPESTRE LA CARIDAD EL MIRADOR VIVA CAI							
9	Intervalo	Instante	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	1	20/10/15 1:10	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.10	-1.00
11	2	20/10/15 1:20	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.00	-1.00
12	3	20/10/15 1:30	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.10	-1.00
13	4	20/10/15 1:40	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.00	-1.00
14	5	20/10/15 1:50	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.90	-1.00
15	6	20/10/15 2:00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.60	-1.00
16	7	20/10/15 2:10	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.50	-1.00
17	8	20/10/15 2:20	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.30	-1.00
18	9	20/10/15 2:30	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.30	-1.00
19	10	20/10/15 2:40	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.80	-1.00
20	11	20/10/15 2:50	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.80	-1.00
21	12	20/10/15 3:00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.20	-1.00

Figura 52. - Hoja de datos con relleno de huecos

13.2.3.2 Cálculos básicos

La solución incluye códigos de programación que permiten realizar cálculos básicos muy variados (balances en embalse, precipitaciones en subcuencas, caudales en estaciones de aforos, tendencias, acumulaciones, ...)

	B	C	D	E	F	G
2 Pesos [0-1]		San Francisco	Berriozabal	San Agustín	Chacona	San Jose
3 ANTONIO BOMBANO		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4 VISTA HERMOSA		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5 BERRIOZABAL		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6 SOLIDARIDAD		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7 PUENTE CLUB CAMPESTRE		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8 LA CARIDAD		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9 EL MIRADOR		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10 VIVA CARDENAS		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11 OBSERVATORIO CNA		0.01	0.01	1.00	1.00	1.00
12 CENTRO 2a PTE		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
13 CRISTAL (TV AZTECA)		0.01	0.01	0.01	0.01	1.00
14 SEC. TEC. 59		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
15 SAN JUAN (SEMINARIO)		0.01	0.01	0.01	1.00	0.01
16 MUCH		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
17 UNICACH		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
18 SEC. TEC 103		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
19 MODULO 5		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20 PARQUE DE ORIENTE		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
21 TRABAJO SOCIAL		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Figura 53. - Pesos de pluviómetros para el cálculo de subcuencas (Caso El Sabinal)

	A	B	C	D	E	F	G	H
4	Cotas Hectáreas	583.33	541.17	530.19	505.80	516.56	493.30	
5	Cotas de fondo:	583.65	541.50	530.40	506.27	514.80	493.20	
6		PUENTE CLUB CAMPESTRE	JOYJO MAYU	CASA KOLPING	CIPRES (PTE, IMSS)	CENTRO 2a PTE	PARQUE DE ORIENTE	
7	20/10/15 1:30	0.13	0.62	0.15	-1.00	0.41	0.91	
8	20/10/15 1:20	0.13	0.60	0.15	-1.00	0.41	0.90	
9	20/10/15 1:30	0.13	0.61	0.14	-1.00	0.41	0.91	
10	20/10/15 1:40	0.13	0.61	0.14	-1.00	0.41	0.91	
11	20/10/15 1:50	0.13	0.61	0.14	-1.00	0.41	0.91	
12	20/10/15 2:00	0.13	0.61	0.14	-1.00	0.41	0.91	
13	20/10/15 2:10	0.13	0.63	0.15	-1.00	0.40	0.90	
14	20/10/15 2:20	0.13	0.64	0.17	-1.00	0.41	0.92	
15	20/10/15 2:30	0.13	0.64	0.18	-1.00	0.41	0.92	
16	20/10/15 2:40	0.13	0.66	0.18	-1.00	0.42	0.94	
17	20/10/15 2:50	0.12	0.70	0.19	-1.00	0.45	0.98	
18	20/10/15 3:00	0.12	0.71	0.23	-1.00	0.45	1.00	
19	20/10/15 3:10	0.12	0.73	0.25	-1.00	0.47	1.01	

Figura 54. - Cálculo de tirantes en función de cotas (Caso El Sabinal)

ID Estación	Num. Puntos	n1	n2	PK (km)	En función del escenario pasado seleccionado						
M.C. GUADALENTÍN-SOTOBOSQUE	6	0.030	0.045	54.056							
	A	Rh	ln	Kn1	n	Q	n	Q	n	Q	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.040	0	0.050	0	0.055	0	
	115.00	12.00	0.56	0.00182	0.35	0.040	8.7	0.050	7.0	0.055	6.3
	160.00	21.21	0.96	0.00181	0.88	0.040	22.0	0.050	17.6	0.055	16.0
	217.00	32.90	1.41	0.00180	1.75	0.040	43.8	0.050	35.1	0.055	31.9
	305.00	51.50	2.04	0.00178	3.50	0.040	87.5	0.050	70.0	0.055	63.6
	448.00	81.52	2.90	0.00178	6.99	0.040	174.9	0.050	139.9	0.055	127.2
AF. COLA AZARBE HURCHILLO	6	0.030	0.050	26.300							
	A	Rh	ln	Kn1	n	Q	n	Q	n	Q	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.040	0	0.050	0	0.055	0	
	132.00	6.21	0.87	0.00082	0.16	0.040	4.0	0.050	3.2	0.055	2.9
	184.00	10.45	0.81	0.00127	0.32	0.040	8.1	0.050	6.5	0.055	5.9
	251.00	17.35	1.22	0.00108	0.65	0.040	16.3	0.050	13.0	0.055	11.8
	300.00	22.52	1.48	0.00111	0.98	0.040	24.4	0.050	19.5	0.055	17.7
	345.00	27.31	1.69	0.00113	1.30	0.040	32.6	0.050	26.1	0.055	23.7
AF. COLA AZARBE MERANCHO	6	0.030	0.050	37.898							
	A	Rh	ln	Kn1	n	Q	n	Q	n	Q	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.040	0	0.050	0	0.055	0	
	132.00	6.21	0.87	0.00082	0.16	0.040	4.0	0.050	3.2	0.055	2.9
	184.00	10.45	0.81	0.00127	0.32	0.040	8.1	0.050	6.5	0.055	5.9
	251.00	17.35	1.22	0.00108	0.65	0.040	16.3	0.050	13.0	0.055	11.8
	300.00	22.52	1.48	0.00111	0.98	0.040	24.4	0.050	19.5	0.055	17.7
	345.00	27.31	1.69	0.00113	1.30	0.040	32.6	0.050	26.1	0.055	23.7
AF. RAMBLA DERRAMADOR	6	0.025	0.045	35.700							
	A	Rh	ln	Kn1	n	Q	n	Q	n	Q	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.030	0	0.035	0	0.043	0	

Figura 55. - Uso de curvas de gasto para la transformación entre caudales y niveles (Caso Segura). La selección de tabla se realiza en función de los resultados de simulación (ver 13.2.3.4)

Coef:	1		2		3		
Area	Caudal	Area	Caudal	Area	Caudal	Area	Caudal
FECHAS	PUENTE CLUB CAMPESTRE	PUENTE CLUB CAMPESTRE	CIPRES (PTE. IMSS)	CIPRES (PTE. IMSS)	PARQUE DE ORIENTE	PARQUE DE ORIENTE	
20/10/15 1:10	1.92	2.41	-1.00	-1.00	26.30	0.00	
20/10/15 1:20	1.92	2.53	-1.00	-1.00	25.98	0.00	
20/10/15 1:30	1.92	2.61	-1.00	-1.00	26.30	0.00	
20/10/15 1:40	1.92	2.75	-1.00	-1.00	26.30	0.00	
20/10/15 1:50	1.92	2.74	-1.00	-1.00	26.30	0.00	
20/10/15 2:00	1.92	2.67	-1.00	-1.00	26.30	0.00	
20/10/15 2:10	1.92	2.59	-1.00	-1.00	25.98	0.00	
20/10/15 2:20	1.92	2.55	-1.00	-1.00	26.70	14.71	
20/10/15 2:30	1.92	2.41	-1.00	-1.00	26.70	16.05	
20/10/15 2:40	1.92	2.71	-1.00	-1.00	27.51	0.00	
20/10/15 2:50	1.78	2.33	-1.00	-1.00	29.11	0.00	
20/10/15 3:00	1.78	2.23	-1.00	-1.00	29.91	0.00	
20/10/15 3:10	1.78	2.23	-1.00	-1.00	30.31	0.00	
20/10/15 3:20	1.92	2.40	-1.00	-1.00	31.11	0.00	
20/10/15 3:30	1.92	2.50	-1.00	-1.00	31.91	0.00	
20/10/15 3:40	1.92	2.41	-1.00	-1.00	32.71	24.61	
20/10/15 3:50	1.92	2.52	-1.00	-1.00	32.71	21.00	

Figura 56. - Cálculo de caudales en estaciones con medidas de velocidad (Caso El Sabinal)

13.2.3.3 Análisis por escenarios

Los cálculos hidrológicos se realizan contemplando distintos tipos de escenarios, que, en general, estarán definidos por un conjunto de hipótesis relacionadas con el sistema hidrológico que se simula y sobre el que se hace la previsión. Estas hipótesis estarán descritas con parámetros de modelación o con series temporales.

Cada escenario será simulado por el modelo Hec y los resultados serán recuperados en el libro de Excel.

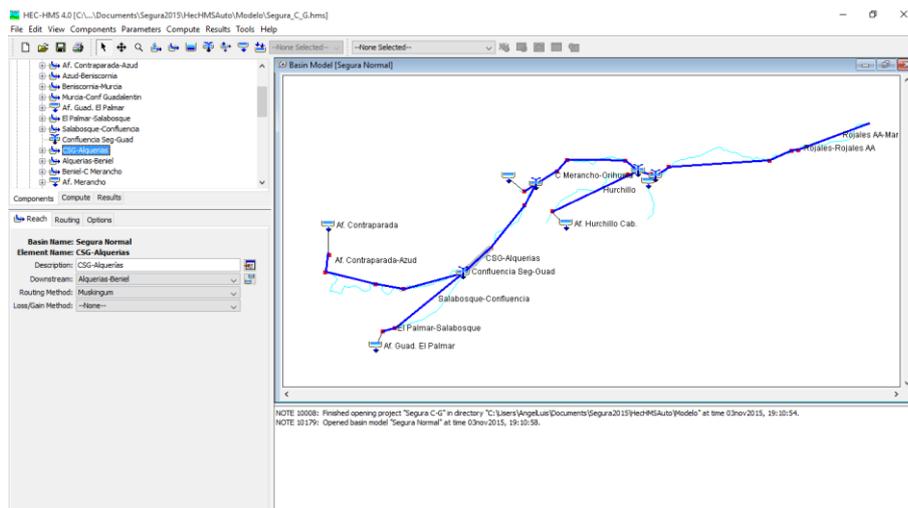


Figura 57.- Pantalla del modelo Hec-HMS para simulación utilizado en el caso del Segura

13.2.3.4 Análisis de episodio. Autocalibración por contraste de escenarios de estado reciente

Hay escenarios relativos a tiempo pasado. El modelo Hec-HMS se configura conforme a hipótesis de estado y evolución reciente en situaciones distintas. Así, en el caso de El Sabinal, los escenarios pasados corresponden a ciertos estados de

humedad antecedentes (secos, normales o saturados) y a velocidades de propagación diferentes. En el caso del río Segura, los escenarios contemplan distintos parámetros de propagación y diversas curvas de gasto, asociadas cada una a una rugosidad en el tramo de cauce correspondiente.

El sistema realiza los cálculos para los distintos escenarios considerados y contrasta sus resultados con las observaciones (series temporales medidas). El escenario que proporcione el mejor ajuste será el que se seleccione para realizar el pronóstico.

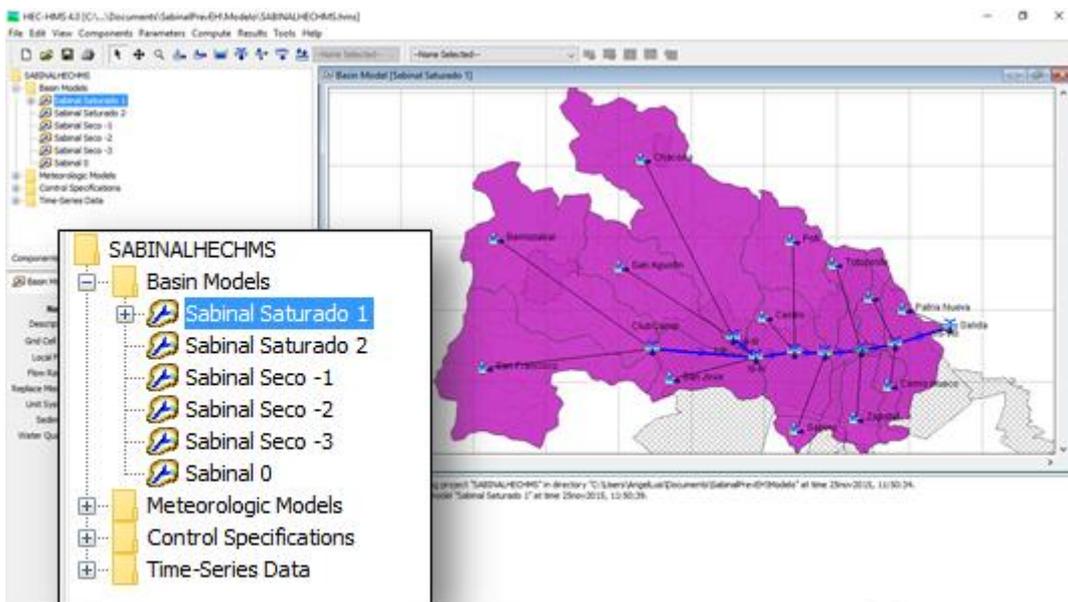


Figura 58. - Escenarios en tiempo pasado para la calibración del modelo

El Sabinal			
Selecciónado:	0.14	-4	RUN-SIMULAPORBAT4
Errores	EscenarioPas	Escenario	Comentario
0.18	1	RUN-SIMULAPORBAT1	Normal
0.35	2	RUN-SIMULAPORBAT2	Saturado 1
0.50	3	RUN-SIMULAPORBAT3	Saturado 2
0.14	4	RUN-SIMULAPORBAT4	Seco -1
0.16	5	RUN-SIMULAPORBAT5	Seco -2
0.16	6	RUN-SIMULAPORBAT6	Seco -3

Figura 59. - Tabla de comparación y selección de escenario con mejor ajuste a las observaciones

13.2.3.5 Escenarios de previsión. Hipótesis de futuro sobre las entradas al sistema

Una vez seleccionado el escenario pasado que mejor refleja la realidad observada, se procede a calcular el comportamiento del sistema en tiempo futuro. Pero para esto

es necesario realizar unas hipótesis de futuro sobre las entradas al sistema (precipitaciones o caudales). Por ejemplo, se suponen tres lluvias caracterizadas por sus volúmenes acumulados y el periodo de tiempo (futuro) en el que se presentan, o diferentes evoluciones de los hidrogramas futuros de entrada al sistema hidrológico que se trata.

Las posibilidades de definición de estos escenarios son muy amplias. Así, uno de los escenarios puede estar definido por las previsiones que proporciona un modelo de previsión numérica del tiempo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	El Sabinal	Escenario: EF1		Rectangular						
2	Instante final:	21/10/15 1:00			Volumen total:	20,00	Tiempo inicial (h)	1,00		
3	Instante inicial:	20/10/15 1:30			Por intervalo:	3,33				
4	Instante final de previsión:	21/10/15 5:30	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
5		Incremento temporal (minutos):	30							
6		Código variable (SIH):	Uuvia	Uuvia	Uuvia	Uuvia	Uuvia	Uuvia	Uuvia	Uuvia
7		Código estación (SIH):	CPAB03	CPVH05	CPBE03	CPSD02	PTECLUBCAMP	CPCAD4	CPMI07	CPVC09
8		Nombre:	ANTONIO BOMBANO	VISTA HERMOSA	BERRIOZABAL	SOLIDARIDAD	PUENTE CLUB CAMPESTRE	LA CARIDAD	EL MIRADOR	VIVA CARD
9	Intervalo	Instante	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	145	21/10/15 1:30	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
11	146	21/10/15 1:20	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
12	147	21/10/15 1:30	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
13	148	21/10/15 1:40	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
14	149	21/10/15 1:50	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
15	150	21/10/15 2:00	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
16	151	21/10/15 2:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	152	21/10/15 2:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	153	21/10/15 2:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	154	21/10/15 2:40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	155	21/10/15 2:50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	156	21/10/15 3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	157	21/10/15 3:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 60. - Hoja de definición de un escenario futuro. En el caso de El Sabinal se definen como precipitaciones en pluviómetros en un tiempo dado y con un volumen total hipotético

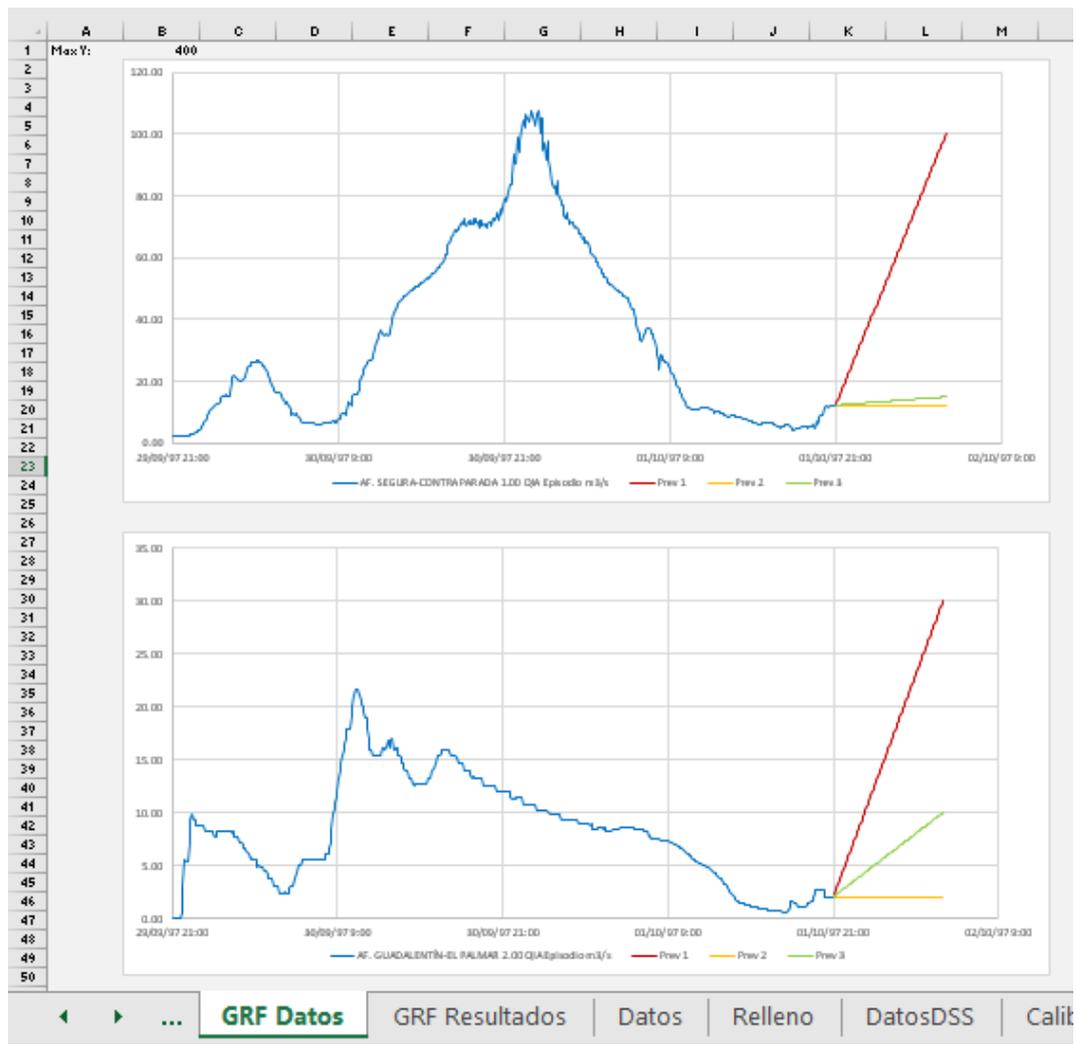


Figura 61.- Ejemplo gráfico de escenarios hipótesis de futuro sobre las entradas al sistema del río Segura.

13.2.4 Ejecución de la aplicación

La aplicación está concebida para uso interactivo o automático, siendo, en este último caso, comandados por una aplicación especial denominada "motor".

	A	B	C
1	Previsiones en puntos de control		
2	Hoja de ejecución principal		
3	Caso:		
4	El Sabinal		
5			
6			
7			
8	Ejecuta		
9			
10			
11			
12			
13			
14	Instante actual:	21/10/15 1:00	
15	Instante inicial:	20/10/15 1:10	
16	Instante final de previsión:	21/10/15 5:10	
17	Escenario pasado seleccionado:	1	
18			
19	Instante de cálculos:	19/11/15 1:00	
20			

Figura 62. - Hoja de ejecución de la previsión en modo interactivo

13.2.5 Resultados

Los resultados se presentan en hojas de cálculo, con todos los valores numéricos de interés, y en una hoja de gráficos como los de las figuras siguientes.

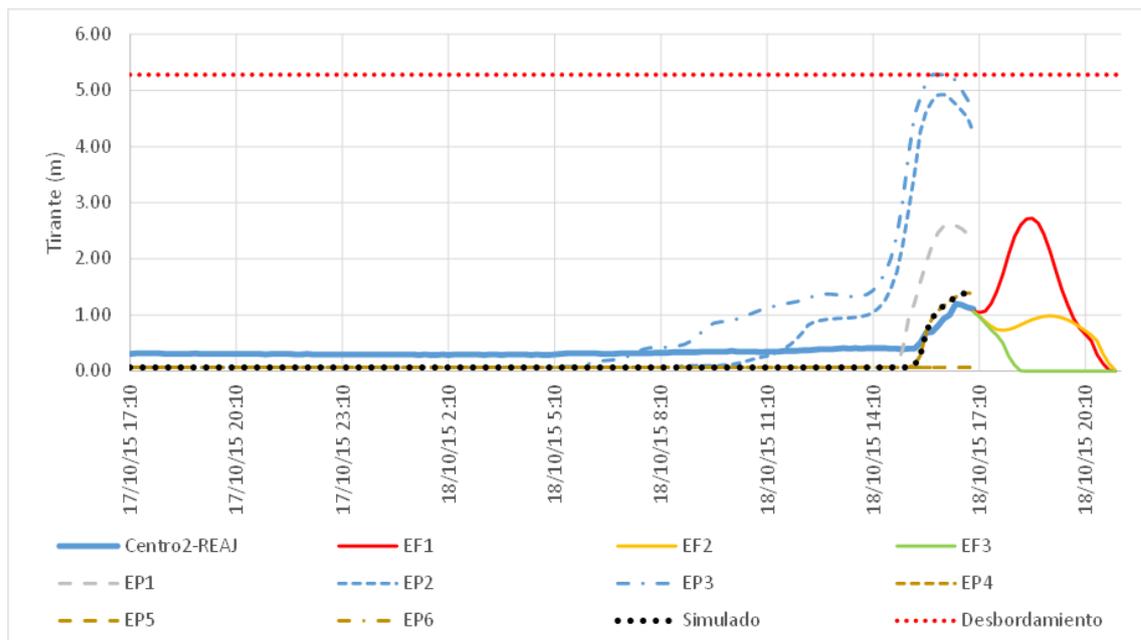


Figura 63. - Resultados en puntos con observación. EFi (i=1,2,3) son los resultados de previsión según el escenario futuro que corresponda. Las curvas EPi (i=1,..., 6) representan las simulaciones de cada escenario. Los resultados del seleccionado se marcan con puntos. La línea azul gruesa representa la observación

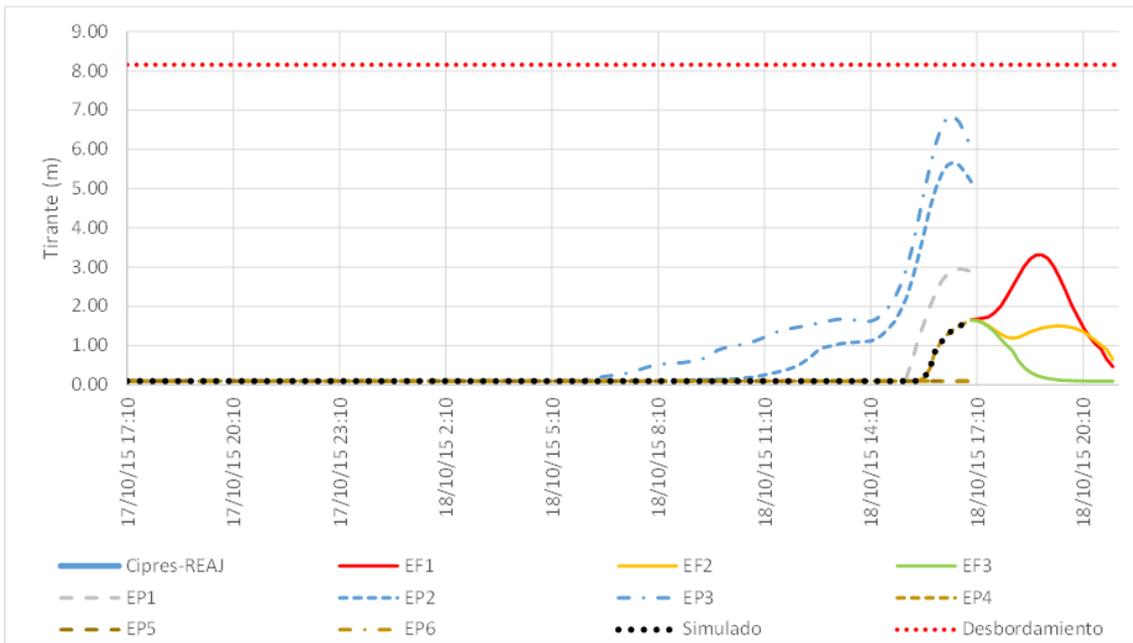


Figura 64. - Resultados en puntos sin observación o con fallo en las medidas

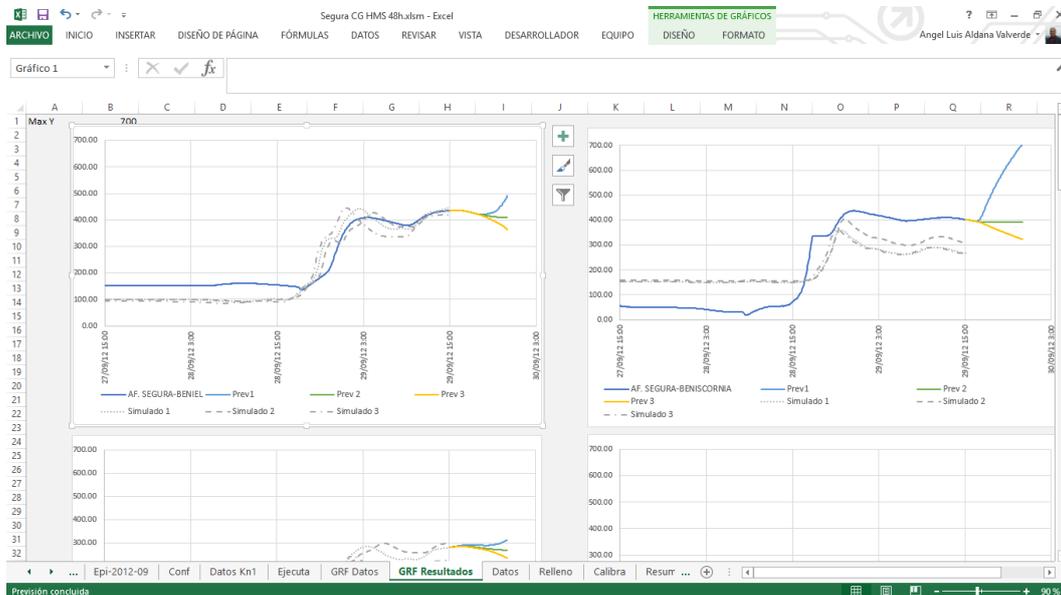


Figura 65.- Representación de los escenarios de simulación, niveles observados y previstos según los escenarios de previsión (Caso Segura).

13.2.5.1 Trazas

Para el control y seguimiento del funcionamiento del sistema, la aplicación desarrollada con MS-Excel va generando unas "trazas" en hojas de cálculo específicas.

13.2.5.1.1 Trazas de ejecución

La traza de ejecución recoge las acciones que se van realizando a lo largo del tiempo.

	A	B
1		
2	CALIBRACIÓN. Escenario 1	18/10/15 22:14
3	A DSS. Hoja A DSS 1. Ejecución de ADatosDSS.bat	18/10/15 22:14
4	CALIBRACIÓN. Orden EjecutaHMS.bat	18/10/15 22:14
5	De DSS. Hoja De DSS Pas 1. Ejecución de ResHMSAExcel.bat	18/10/15 22:14
6	Recuperados datos de ResultadosHMS.xls a hoja De DSS Pas 1	18/10/15 22:14
7	CALIBRACIÓN. Escenario 2	18/10/15 22:14
8	A DSS. Hoja A DSS 2. Ejecución de ADatosDSS.bat	18/10/15 22:14
9	CALIBRACIÓN. Orden EjecutaHMS.bat	18/10/15 22:14
10	De DSS. Hoja De DSS Pas 2. Ejecución de ResHMSAExcel.bat	18/10/15 22:14
11	Recuperados datos de ResultadosHMS.xls a hoja De DSS Pas 2	18/10/15 22:14
12	CALIBRACIÓN. Escenario 3	18/10/15 22:14
13	A DSS. Hoja A DSS 3. Ejecución de ADatosDSS.bat	18/10/15 22:14
14	CALIBRACIÓN. Orden EjecutaHMS.bat	18/10/15 22:14
15	De DSS. Hoja De DSS Pas 3. Ejecución de ResHMSAExcel.bat	18/10/15 22:15
16	Recuperados datos de ResultadosHMS.xls a hoja De DSS Pas 3	18/10/15 22:15
17	CALIBRACIÓN. Escenario seleccionado: 2	18/10/15 22:15
18	PREVISIÓN. Escenario 1	18/10/15 22:15
19	A DSS. Hoja A DSS 1. Ejecución de ADatosDSS.bat	18/10/15 22:15
20	CALIBRACIÓN. Orden EjecutaHMS.bat	18/10/15 22:15
21	De DSS. Hoja De DSS Fut 1. Ejecución de ResHMSAExcel.bat	18/10/15 22:15
22	Recuperados datos de ResultadosHMS.xls a hoja De DSS Fut 1	18/10/15 22:15
23	PREVISIÓN. Escenario 2	18/10/15 22:15
24	A DSS. Hoja A DSS 2. Ejecución de ADatosDSS.bat	18/10/15 22:15

Figura 66. - Traza de ejecución del sistema

13.2.5.1.2 Trazas de previsión

La traza de previsión tiene por finalidad llevar un control del acierto de las previsiones a diferentes horizontes de previsión y para los distintos escenarios futuros.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2			Horizonte:	1	2			3					
3	Instante ejecución	Instante dato	Observación	Instante	Escenario 1 h+1	Escenario 2 h+1	Escenario 3 h+1	Instante	Escenario 1 h+2	Escenario 2 h+2	Escenario 3 h+2	Instante	Escenario 1 h+3
4	17/10/15 14:24	02/08/12 12:00	0.06	02/08/12 13:00	4.25	0.13	0.06	02/08/12 14:00	89.68	4.09	0.06	02/08/12 15:00	57
5	17/10/15 14:28	02/08/12 12:10	0.06	02/08/12 13:10	4.25	0.13	0.06	02/08/12 14:10	89.68	4.09	0.06	02/08/12 15:10	57
6	17/10/15 14:31	02/08/12 12:20	0.06	02/08/12 13:20	4.25	0.13	0.06	02/08/12 14:20	89.68	4.09	0.06	02/08/12 15:20	57
7	18/10/15 22:15	02/08/12 18:40	12.29	02/08/12 19:40	34.84	11.03	6.21	02/08/12 20:40	226.15	36.14	3.62	02/08/12 21:40	94
8	18/10/15 22:23	02/08/12 18:40	12.29	02/08/12 19:40	34.84	11.03	6.21	02/08/12 20:40	226.15	36.14	3.62	02/08/12 21:40	94
9	20/10/15 12:53	02/08/12 18:40	0.00	02/08/12 19:40	25.90	0.00	0.00	02/08/12 20:40	219.76	23.85	0.00	02/08/12 21:40	91
10	20/10/15 13:16	02/08/12 18:40	0.00	02/08/12 19:40	25.90	25.90	25.90	02/08/12 20:40	77.09	77.09	77.09	02/08/12 21:40	21
11	20/10/15 14:01	02/08/12 18:40	0.00	02/08/12 19:40	25.90	25.90	25.90	02/08/12 20:40	77.09	77.09	77.09	02/08/12 21:40	21
12	20/10/15 16:23	01/10/15 15:40	0.00	01/10/15 16:40	25.90	25.90	25.90	01/10/15 17:40	77.09	77.09	77.09	01/10/15 18:40	21
13	20/10/15 16:28	01/10/15 15:40	0.00	01/10/15 16:40	25.90	25.90	25.90	01/10/15 17:40	77.09	77.09	77.09	01/10/15 18:40	21
14	20/10/15 16:39	01/08/12 19:40	0.00	01/08/12 19:40	23.00	23.00	23.00	01/08/12 20:40	72.67	72.67	72.67	01/08/12 21:40	21
15	20/10/15 17:17	01/10/15 18:40	0.00	01/10/15 19:40	23.08	0.44	0.00	01/10/15 20:40	167.53	8.94	0.00	01/10/15 21:40	324
16	20/10/15 19:16	01/10/15 18:40	-1.00	01/10/15 19:40	23.08	0.45	0.00	01/10/15 20:40	167.71	9.00	0.00	01/10/15 21:40	324
17	21/10/15 11:06	01/10/15 18:40	-1.00	01/10/15 19:40	23.08	0.45	0.00	01/10/15 20:40	167.71	9.00	0.00	01/10/15 21:40	324
18	21/10/15 12:27	01/10/14 18:40	0.00	01/10/14 19:40	0.00	0.00	0.00	01/10/14 20:40	0.00	0.00	0.00	01/10/14 21:40	1
19	21/10/15 13:05	01/10/14 18:40	0.00	01/10/14 19:40	80.48	80.48	80.48	01/10/14 20:40	275.53	275.53	275.53	01/10/14 21:40	408
20	21/10/15 14:05	01/10/14 18:40	0.00	01/10/14 19:40	80.48	80.48	80.48	01/10/14 20:40	275.53	275.53	275.53	01/10/14 21:40	408
21	22/10/15 14:08	01/10/14 18:40	-0.30	01/10/14 19:40	79.14	29.38	0.00	01/10/14 20:40	148.68	83.29	0.00	01/10/14 21:40	41
22	22/10/15 14:59	01/10/14 18:40	-0.30	01/10/14 19:40	79.14	29.38	0.00	01/10/14 20:40	148.68	83.29	0.00	01/10/14 21:40	41
23	22/10/15 15:07	01/10/14 18:40	-0.30	01/10/14 19:40	79.14	29.38	0.00	01/10/14 20:40	148.68	83.29	0.00	01/10/14 21:40	41
24	22/10/15 15:32	01/10/14 18:40	-0.30	01/10/14 19:40	79.14	29.38	0.00	01/10/14 20:40	148.68	83.29	0.00	01/10/14 21:40	41

Figura 67. - Hoja con traza de previsión de una de las estaciones

13.2.5.2 Ventajas de la solución

La solución cuenta con las siguientes ventajas desde el punto de vista informático:

- Se basa en aplicaciones de dominio público (Software Hec)
- Configurable
- Versátil
- Abierta
- No requiere equipos especiales
- Ejecución breve

Y, desde el punto de vista hidrológico, cumple con las exigencias de un modelo de previsión operacional:

- Validación y relleno de huecos
- Autocalibración
- Escenarios futuros correspondientes a distintas hipótesis
- Simplicidad de uso
- Facilidad de interpretación de resultados

13.3 Ejemplos de herramientas de simulación desarrolladas en Excel

Se presentan a continuación un par de ejemplos de herramientas de simulación desarrolladas en Excel, que, aunque su objetivo no sea el pronóstico, ilustran otras posibilidades de desarrollos propios.

Hay casos en los que hay que simular sistemas con cálculos simples, caso del primer ejemplo de los siguientes, pero con algunas singularidades que pueden implicar complejidad a la hora de generar un modelo con programas de cálculo general. Es estos casos, contar con la capacidad de desarrollo que se muestra en esta publicación es útil. El segundo ejemplo muestra una solución que apenas requiere código pero que permite encontrar respuestas a múltiples preguntas acerca del funcionamiento de un sistema hidráulico.

13.3.1 Modelo de simulación de la operación del embalse de Barasona

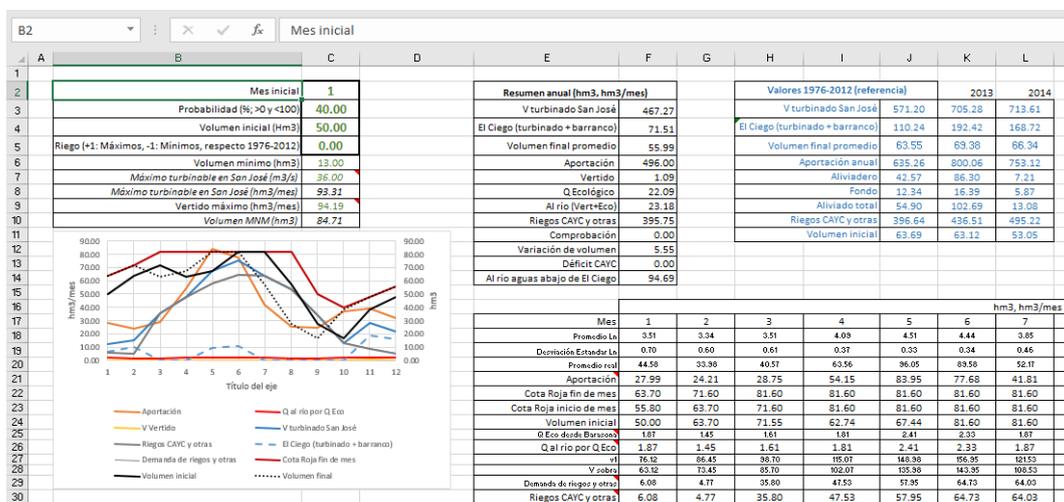


Figura 68.- Aspecto de la hoja principal de cálculos de simulación anual a escala mensual

Se ha desarrollado una utilidad de cálculo para la simulación del comportamiento del sistema formado por el embalse de Barasona, de las turbinaciones en San José y en El Ciego (parte del sistema hidroeléctrico existente en el río Cinca, afluente del Ebro en España). Una descripción gráfica de los sistemas puede apreciarse en las figuras (Figura 69 y siguiente)



Figura 69.- Centrales asociadas a la explotación del embalse de Barasona

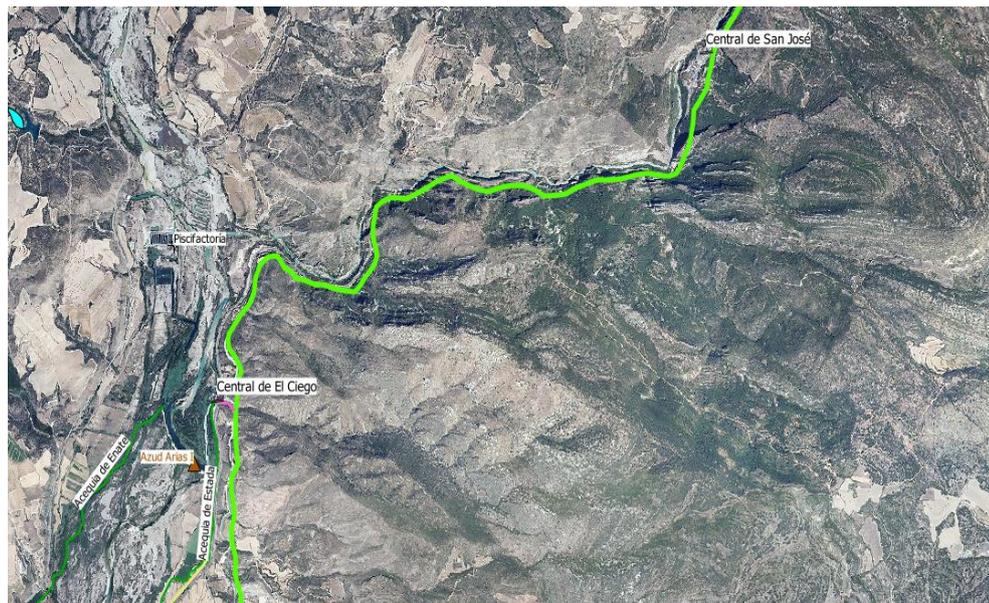


Figura 70.- Ortofoto con la traza del Canal de Aragón y Cataluña y las posiciones de las Centrales de San José y El Ciego

La utilidad se ha implementado en MS-Excel, y el usuario puede modificar aquellas celdas que están resaltadas con color verde y con bordes gruesos.

13.3.1.1 Descripción del problema

El embalse de Barasona tiene como finalidad principal la regulación para fines agrícolas y urbanos, pero también para algunos aprovechamientos hidroeléctricos. Estos últimos están condicionados por los excedentes de los anteriores y por el volumen de embalse.

13.3.1.2 Utilidad de la solución

La solución permite simular el comportamiento del sistema (a través de la evolución del embalse, turbinaciones y satisfacción de demandas), mes a mes a lo largo de un año, ante distintas hipótesis, entre las que se encuentran, como datos más relevantes, la probabilidad de las aportaciones al embalse, las magnitudes de las demandas y el volumen a principios del ciclo anual.

13.3.1.3 Datos

Los datos de cálculo para realizar análisis son los de la tabla siguiente:

Mes inicial	1
Probabilidad (%; >0 y <100)	40.00
Volumen inicial (Hm ³)	50.00
Riego (+1: Máximos, -1: Mínimos, respecto 1976-2012)	0.00
Volumen mínimo (hm ³)	13.00
Máximo turbinable en San José (m ³ /s)	36.00
Vertido máximo (hm ³ /mes)	94.19

Tabla 2.- Tabla de datos para la simulación

Estos recogen las variables más representativas de las circunstancias que cabe analizar de forma normal, para los problemas más comunes, aunque cabe alterar otro conjunto de variables. Las que se describen en los apartados siguientes.

13.3.1.4 Cotas rojas

También hay que introducir los valores de las denominadas cotas rojas que determinan la condición de turbinación libre: puede turbinarse siempre y cuando se asegure que el nivel del embalse al final del mes no baje del valor de cota roja correspondiente.

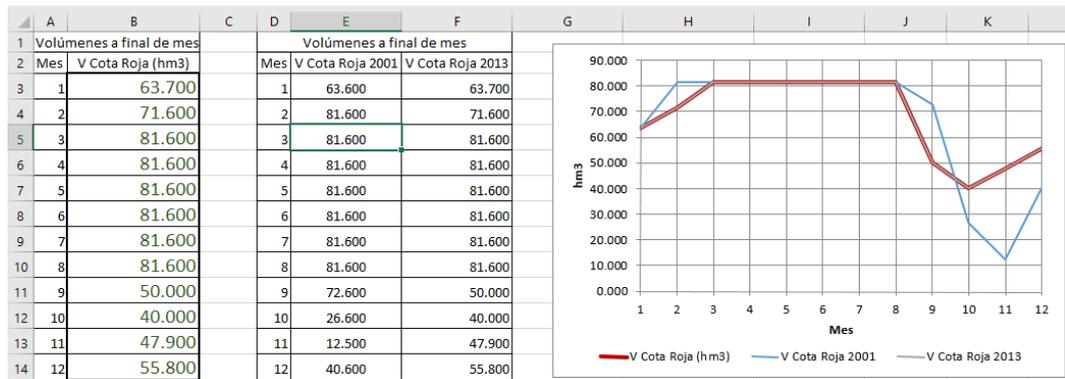


Figura 71.- Introducción de los datos de las curvas de cotas rojas para el cálculo

13.3.1.5 Demandas de riego y otras

Las demandas para riego y otros, a satisfacer aguas abajo de El Ciego, se definen en función de los máximos y mínimos registrados para cada mes. Indicando en los parámetros de cálculo (Tabla 2) el coeficiente que corresponda si se desea que alcance los máximos (+1), los mínimos (-1), el valor medio (0) o un valor en el intervalo (-1,1) si se desea un valor intermedio entre las demandas características anteriores.

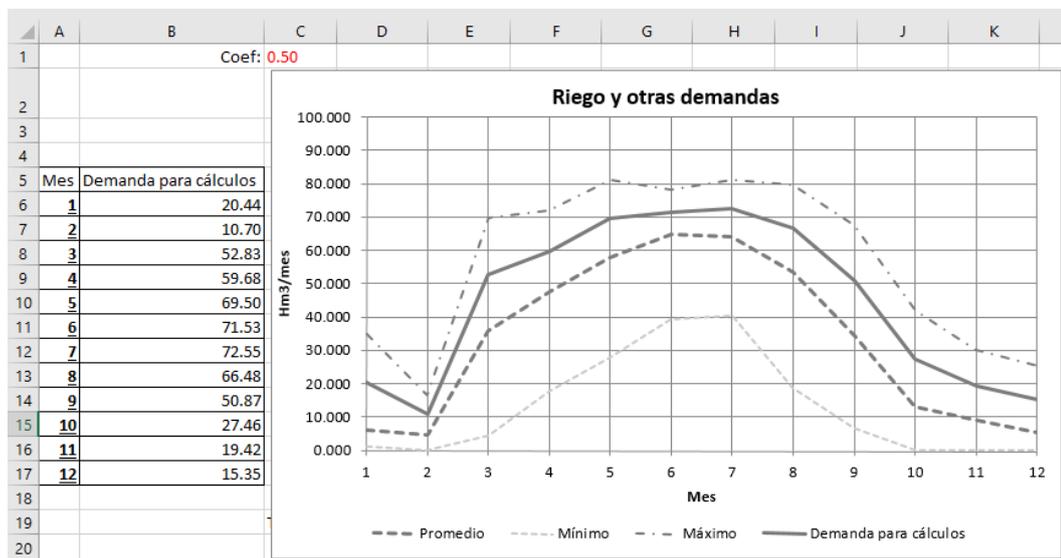


Figura 72.- Ilustración de la definición de demandas en función de los datos

13.3.1.6 Caudales ecológicos

Los caudales ecológicos que se deben verter desde el embalse de Barasona al río se introducen mes a mes, en m³/s, en la hoja correspondiente.

	A	B	C	D
1	Mes	Q (m3/s)	Días	Volumen (hm3)
2	10	0.7	31	1.87
3	11	0.7	30	1.81
4	12	0.7	31	1.87
5	1	0.7	31	1.87
6	2	0.6	28	1.45
7	3	0.6	31	1.61
8	4	0.7	30	1.81
9	5	0.9	31	2.41
10	6	0.9	30	2.33
11	7	0.7	31	1.87
12	8	0.6	31	1.61
13	9	0.6	30	1.56
14				
15			Total:	22.09

Figura 73.- Introducción de los valores de caudales ecológicos

13.3.1.7 Aportaciones

Las aportaciones se establecen en función de la probabilidad (Tabla 2), acorde a los resultados de unos estudios estadísticos.

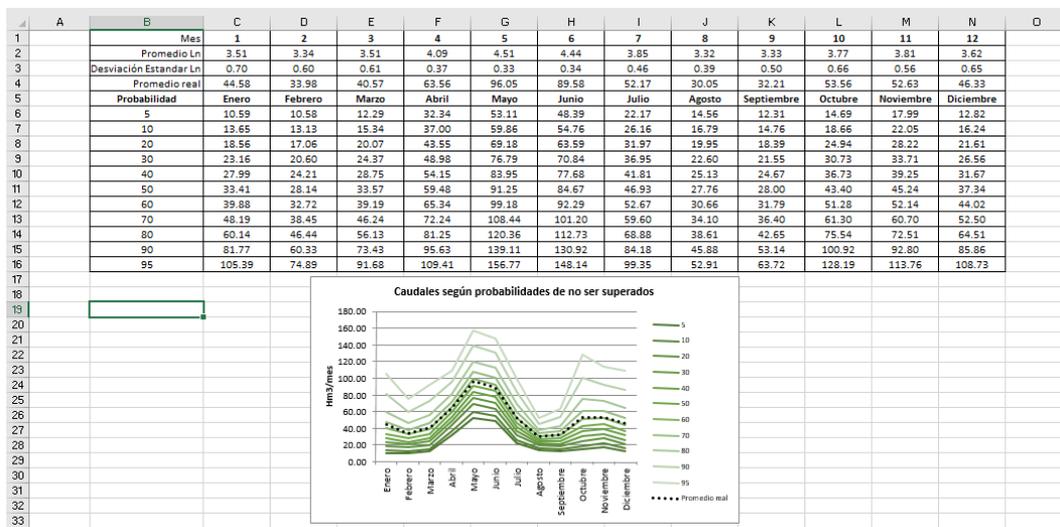


Figura 74.- Datos de estadísticas de las aportaciones

13.3.1.8 Hipótesis

Hay un conjunto de hipótesis de cálculo que están explicadas en el libro de MS-Excel, la mayoría sin gran relevancia y persiguen hacer el balance, de forma razonable, con los datos indicados anteriormente y bajo la hipótesis de vertido que se indica a continuación.

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
16														
17	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sumas /promedios
18	Promedio Ln	3.51	3.34	Angel Luis Aldana Valverde: Se basa en los estudios estadísticos del periodo completo										
19	Desviación Estándar Ln	0.70	0.60											
20	Promedio real	44.58	33.98	Angel Luis Aldana Valverde: La definición de las exigencias mínimas para la presa de Barasona está en la hoja Caudal Eco										
21	Aportación	27.99	24.21											
22	Cota Roja fin de mes	63.70	71.60	Angel Luis Aldana Valverde: Se supone que el nivel de embalse no puede bajar del mínimo establecido. Se limita el caudal ecológico a esta condición										
23	Cota Roja inicio de mes	55.80	63.70											
24	Volumen inicial	50.00	55.68											
25	Q Eco desde Barasona	1.87	1.45	Angel Luis Aldana Valverde: La demanda potencial se calcula en M Riego, en función del registro de datos 1976-2012										
26	Q al río por Q.Eco	1.87	1.45											
27	v1	76.12	78.43											
28	V sobra	63.12	65.43	Angel Luis Aldana Valverde: Se supone que el embalse no puede bajar del mínimo establecido. Se limita satisfacción de demandas a esta condición										
29	Demanda de riegos y otras	20.44	10.70											
30	Riegos CAYC y otras	20.44	10.70											
31	Déficit de demanda	0.00	0.00	Angel Luis Aldana Valverde: Podrá turbinarse lo que se pueda dar a los riegos de CAYC, más lo que sea posible para que no baje de la cota roja al final de mes										
32	v2	55.68	67.73											
33	V sobra	0.00	0.00											
34	V turbinado San José	20.44	10.70	57.83	59.68	69.50	71.53	72.55	Angel Luis Aldana Valverde: Se calcula un primer vertido con la condición de que no se baje del embalse mínimo. De acuerdo a la formulación del estudio de 2014					
35	v3	55.68	67.73											
36	vea	60.00	60.00											
37	ca	1.10	0.56	0.03	0.03	4.80	25.10	5.45	Angel Luis Aldana Valverde: El vertido se aumenta en caso de que se supere el MNN al final del mes. No se tiene en cuenta el vertido máximo mensual					
38	V Vertido pot	0.00	0.00											
39	V Vertido 1	0.00	0.00	Angel Luis Aldana Valverde: Lo que es turbinado en San José y no usado para riegos del CAYC se turbinan en El Ciego										
40	v3	85.66	67.73											
41	V Vertido 2	0.00	0.00											
42	El Ciego (turbinado + barranco)	0.00	0.00											
43	Volumen final	55.68	67.73	41.94	34.59	46.64	50.45	17.84						
44	Río aguas abajo de El Ciego	1.87	1.45	1.72	1.81	2.41	2.33	1.87						

Figura 75.- Tabla de cálculos

Básicamente, los cálculos se basan en hacer balance mes a mes según lo siguiente:

- Se parte del volumen inicial, que puede ser el final del mes anterior
- Se cuenta con el anterior más las aportaciones, de lo que se extraerá lo siguiente (en el orden indicado):
- El volumen para caudal ecológico o la parte de él que permita mantenerse por encima del volumen mínimo de explotación del embalse
- El volumen para riego y otras demandas a satisfacer desde el canal de Aragón y Cataluña, con la misma condición respecto al volumen mínimo.
- El volumen a turbinar en San José, además del anterior, siempre que se asegure que el embalse no baja de la curva roja.
- El volumen vertido, según la formulación del apartado 13.3.1.9, pero al que se le añade la condición de que habrá vertido si el nivel supera el máximo nivel normal (MNN) y se aumentará con respecto a dicha formulación con tal de que no se supere este nivel.
- El balance de los anteriores volúmenes dará el volumen al final del mes
- El volumen derivado por el Ciego (o de otra forma al río) será la diferencia entre el turbinado y lo entregado a riegos y otras demandas.

Así, pues, la hipótesis más relevante, en síntesis, es que el embalse se explota de modo tal que se procura que el volumen embalsado siga la curva roja, con prioridad al caudal ecológico y a los riegos y otras demandas, derivando al río el agua sobrante a través de El Ciego. A lo anterior hay que añadir una hipótesis sobre la regla de vertido desde la presa.

13.3.1.9 Vertidos al río desde la presa de Barasona

Una de las hipótesis de cálculo que hay que contemplar es la que está asociada a los vertidos al cauce en función de las aportaciones mensuales y de la situación del embalse. Estos volúmenes estarán muy condicionados por los casos de crecidas, cuando no sea posible almacenarlos en el embalse de Barasona, pero serán resultado de una toma de decisiones, lo que requiere una representación hipotética. Se supone que el embalse va a ser operado conforme a cómo lo ha sido a lo largo del periodo de datos 1976-2012. Los coeficientes de las fórmulas usadas se establecieron en unos estudios previos. Si las reservas al inicio de cada mes se expresan con V_{ini} , las aportaciones durante el mismo A , el volumen aliviado se formula como:

$$V_a = C_a * A * (V_{ini}/V_{ea} - 1)^p \text{ si } V_{ini} > V_{ea}$$

$$V_a = 0 \text{ si } V_{ini} \leq V_{ea}$$

Donde, V_{ea} es el volumen a partir del cual se vierten caudales al río, C_a es un coeficiente que varía cada mes y p es un parámetro para el que se ha elegido el valor 2.

	A	B	C	D	E	F	G
1	$V_a = C_a * A * (V_{ini}/V_{ea} - 1)^2 \text{ si } V_{ini} > V_{ea}$				Mes	V_{ea}	C_a
2	$V_a = 0 \text{ si } V_{ini} \leq V_{ea}$				1	60	1.100
3					2	60	0.560
4					3	50	0.030
5					4	50	0.030
6					5	73.9	4.800
7					6	84.6	26.100
8					7	82.2	5.450
9					8	56.2	0.030
10					9	26.3	0.030
11					10	13	0.030
12					11	26	0.049
13					12	38.4	0.140

Figura 76.- Definición de la fórmula de vertido

13.3.1.10 Resultados

Los cálculos que se realizan ofrecen resultados, mes a mes, para:

- Volumen turbinado San José
- Volúmenes en El Ciego (turbinado + barranco + cuenco)
- Volumen de embalse
- Vertido al río desde Barasona
- Déficit en la satisfacción de demandas supuestas

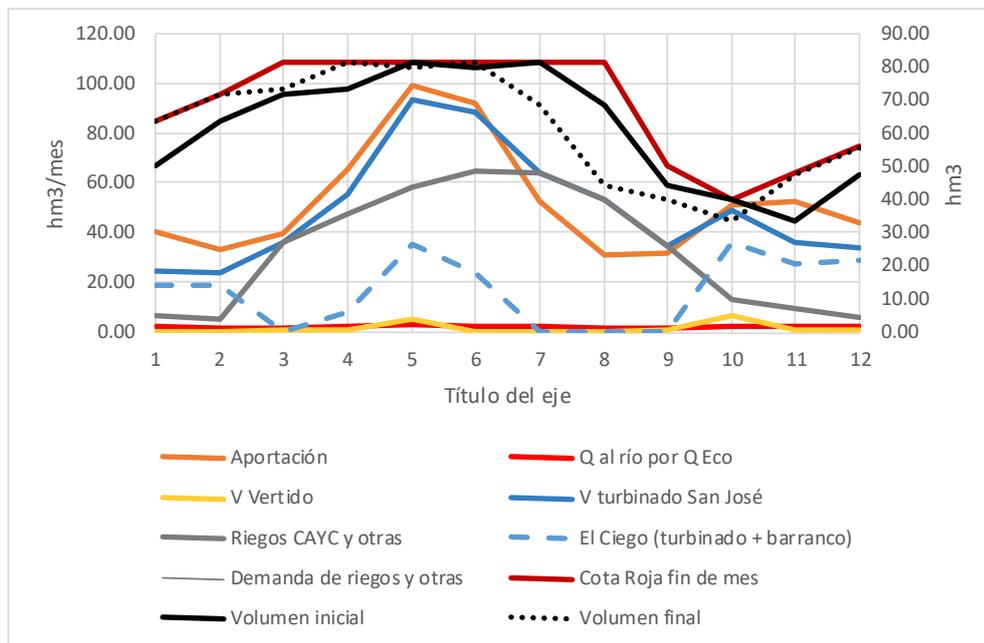


Figura 77.- Ejemplo de gráfico de resultados de cálculo

Además, los detalles de cálculo, con los resultados intermedios pueden consultarse en la tabla correspondiente (Figura 75), y un resumen en una tabla como la siguiente.

Resumen anual (hm3, hm3/mes)	
V turbinado San José	590.77
El Ciego (turbinado + barranco)	195.02
Volumen final promedio	61.66
Aportación	631.15
Vertido	12.85
Q Ecológico	22.09
Al río (Vert+Eco)	34.94
Riegos CAYC y otras	395.75
Comprobación	0.00
Variación de volumen	5.44
Déficit CAYC	0.00
Al río aguas abajo de El Ciego	229.96

Tabla 3.- Ejemplo de tabla resumen de resultados

13.3.1.11 Validación del modelo

Aunque se trata de un modelo sencillo, que permite la contemplación de unos supuestos y analizar las consecuencias en la generación de electricidad en San José

y El Ciego, es necesario hacer una validación para comprobar su buen funcionamiento.

Se ha trabajado con calibración de parámetros correspondiente al periodo de datos 1976-2012, y se han comprobado los resultados con los años 2013 y 2014 (años de validación). Pero introduciendo las aportaciones y los consumos que realmente se produjeron, no los supuestos para los que ha sido concebida la utilidad de análisis. Para estos casos, los cálculos se realizaron con caudal ecológico 0.

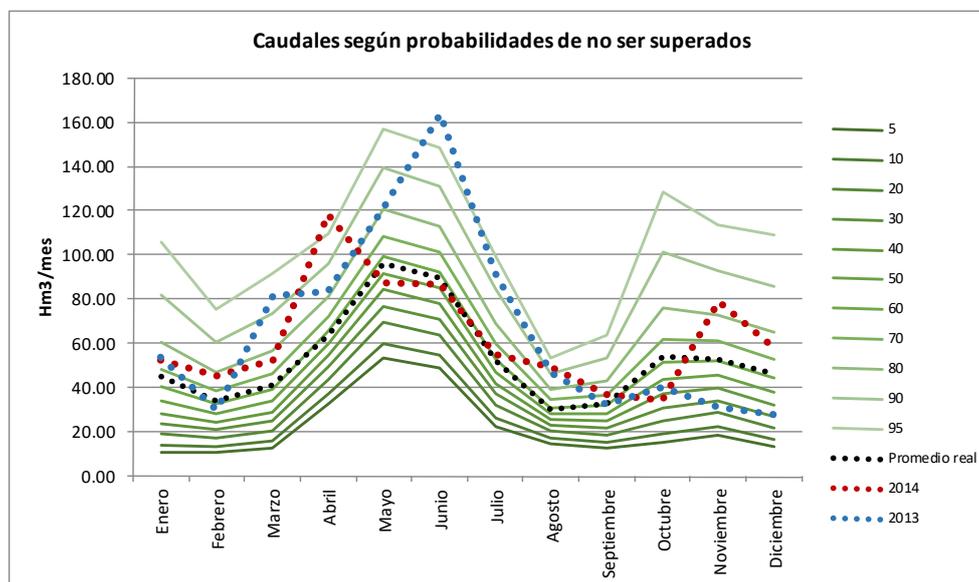


Figura 78.- Aportaciones de los años 2013 y 2014 comparadas con las estadísticas

Tal y como puede apreciarse en la tabla y las figuras siguientes, las simulaciones se ajustan muy bien, con diferencias más importantes en el caso de 2014 aunque admisibles. Las principales diferencias se detectan a finales de año, a partir de septiembre, pues la explotación que se siguió no se ajustó a la curva roja.

Por tanto, la utilidad generada sirve para analizar diferentes casos hipotéticos, cambiando los datos que se deseen.

Datos				Simulaciones					
Valores 1976-2012 (referencia)		2013	2014	2013	Dif	Dif (%)	2014	Dif	Dif (%)
V turbinado San José	571.20	705.28	713.61	714.09	8.81	-1.2	739.10	-25.50	-3.6
El Ciego (turbinado + barranco)	110.24	275.50	218.91	277.58	2.08	-0.8	243.89	-24.98	-11.4
Volumen final promedio	63.55	69.38	66.34	67.55	-1.83	2.6	63.39	2.96	4.5
Aportación anual	635.26	800.06	753.12	800.06	0.00	0.0	753.12	0.00	0.0
Aliviado total	54.90	102.69	13.08	95.62	-7.07	6.9	11.27	1.81	13.8
Riegos CAYC y otras	396.64	436.51	495.22	436.51	0.00	0.0	495.22	0.00	0.0
Volumen inicial	63.69	63.12	53.05	63.12	0.00	0.0	53.05	0.00	0.0

Tabla 4.- Tabla resumen de comparación de resultados en el proceso de validación del modelo

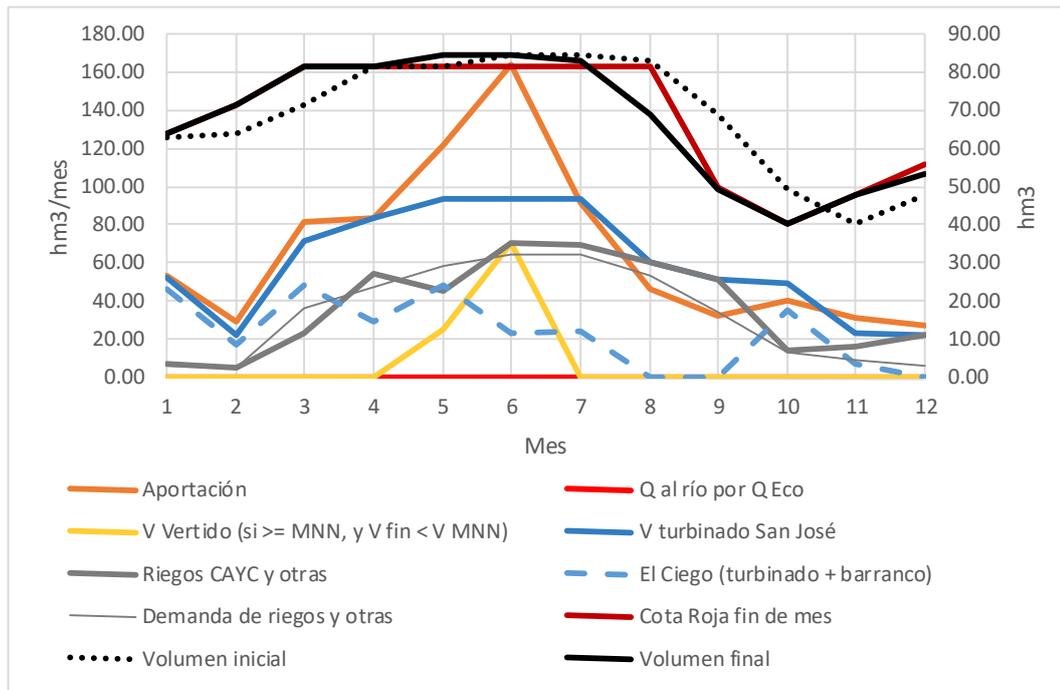


Figura 79.- Resultados de la simulación para validación con datos del 2013

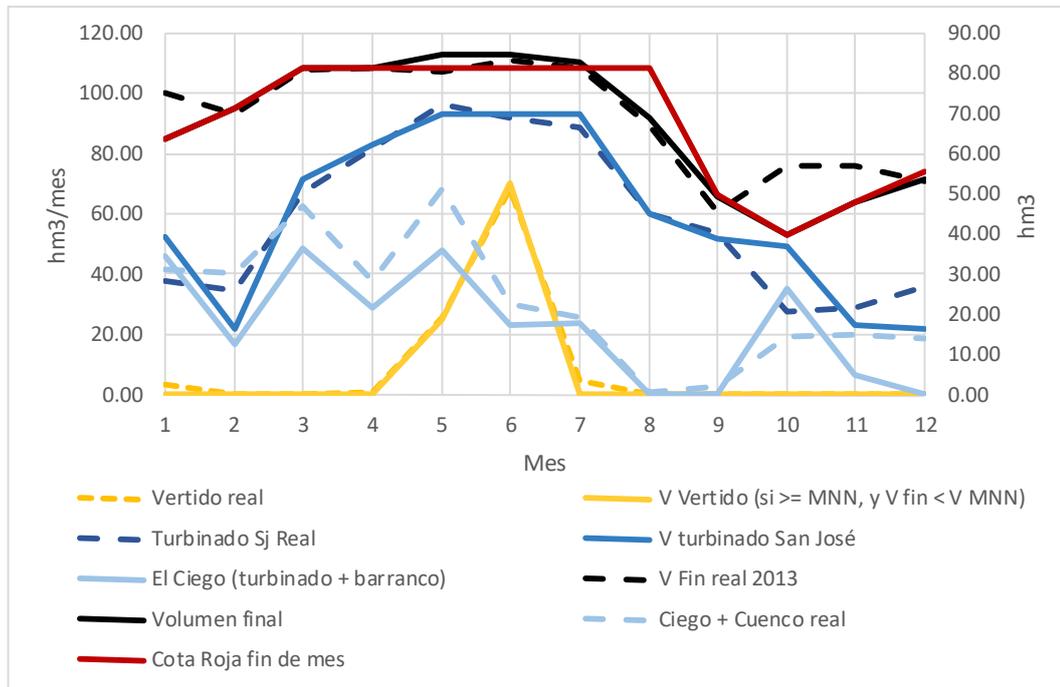


Figura 80.- Contraste de resultados con datos de la validación de la simulación del año 2013

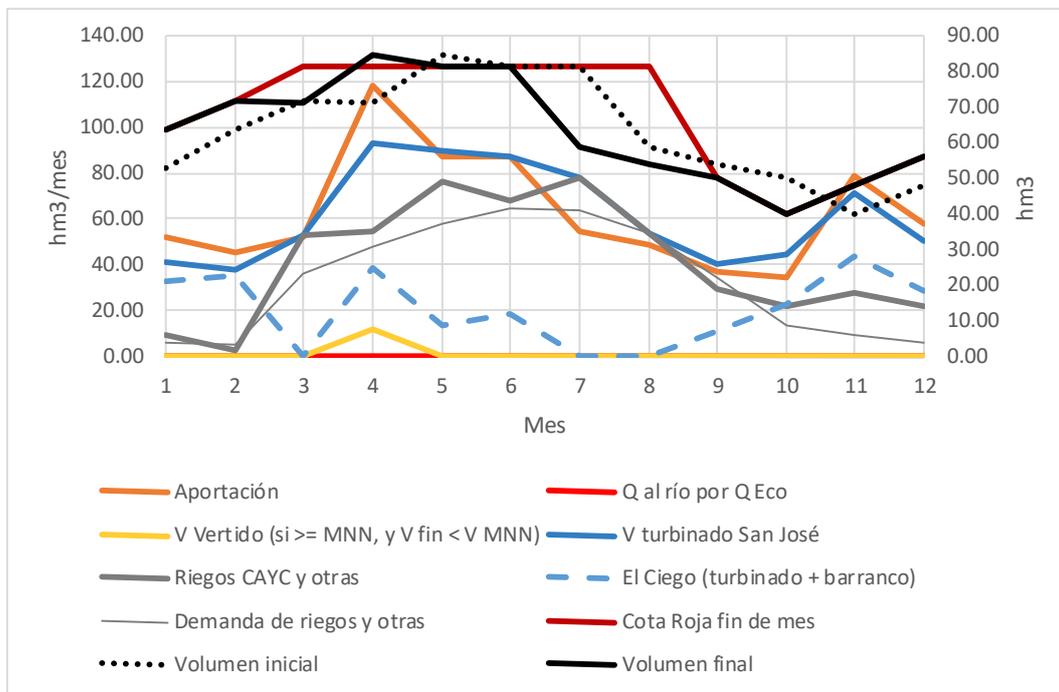


Figura 81.- Resultados de la simulación para validación con datos del 2014

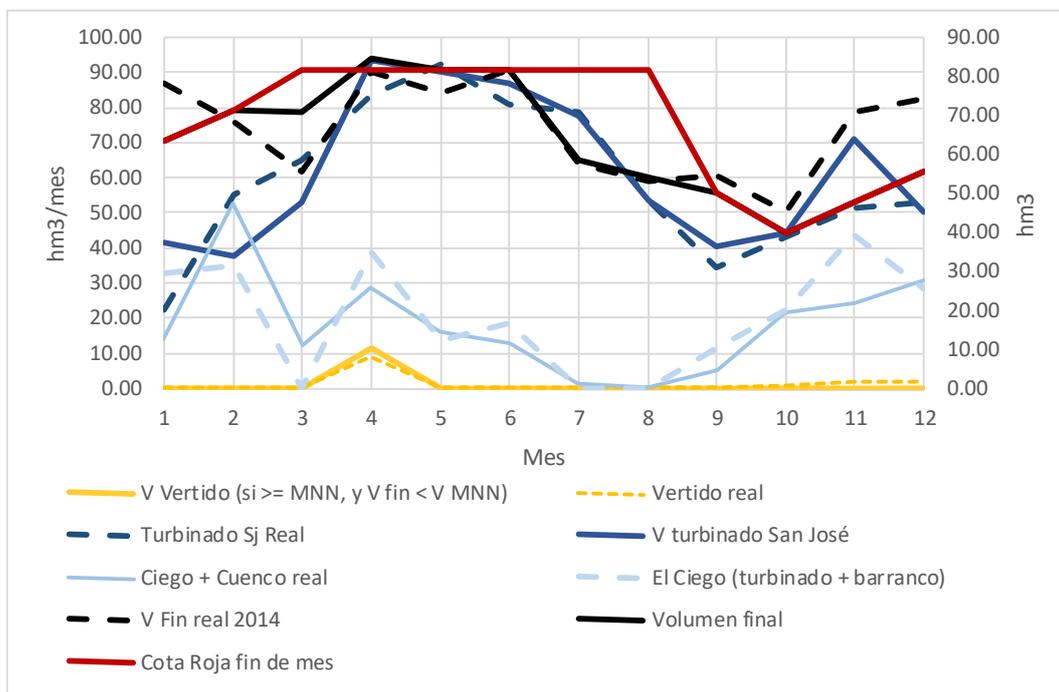


Figura 82.- Contraste de resultados con datos de la validación de la simulación del año 2014

13.3.2 Cálculo de flujos

En la búsqueda de alternativas de operación del sistema de producción de energía que abarca desde la presa de Barasona hasta la central de Ariéstolas, en el río Cinca, resulta necesario realizar varios balances. Dada la complejidad del sistema, se estima

necesario una utilidad de cálculo que parta de una serie de datos y proporcione resultados de interés para valorar alternativas de operación.

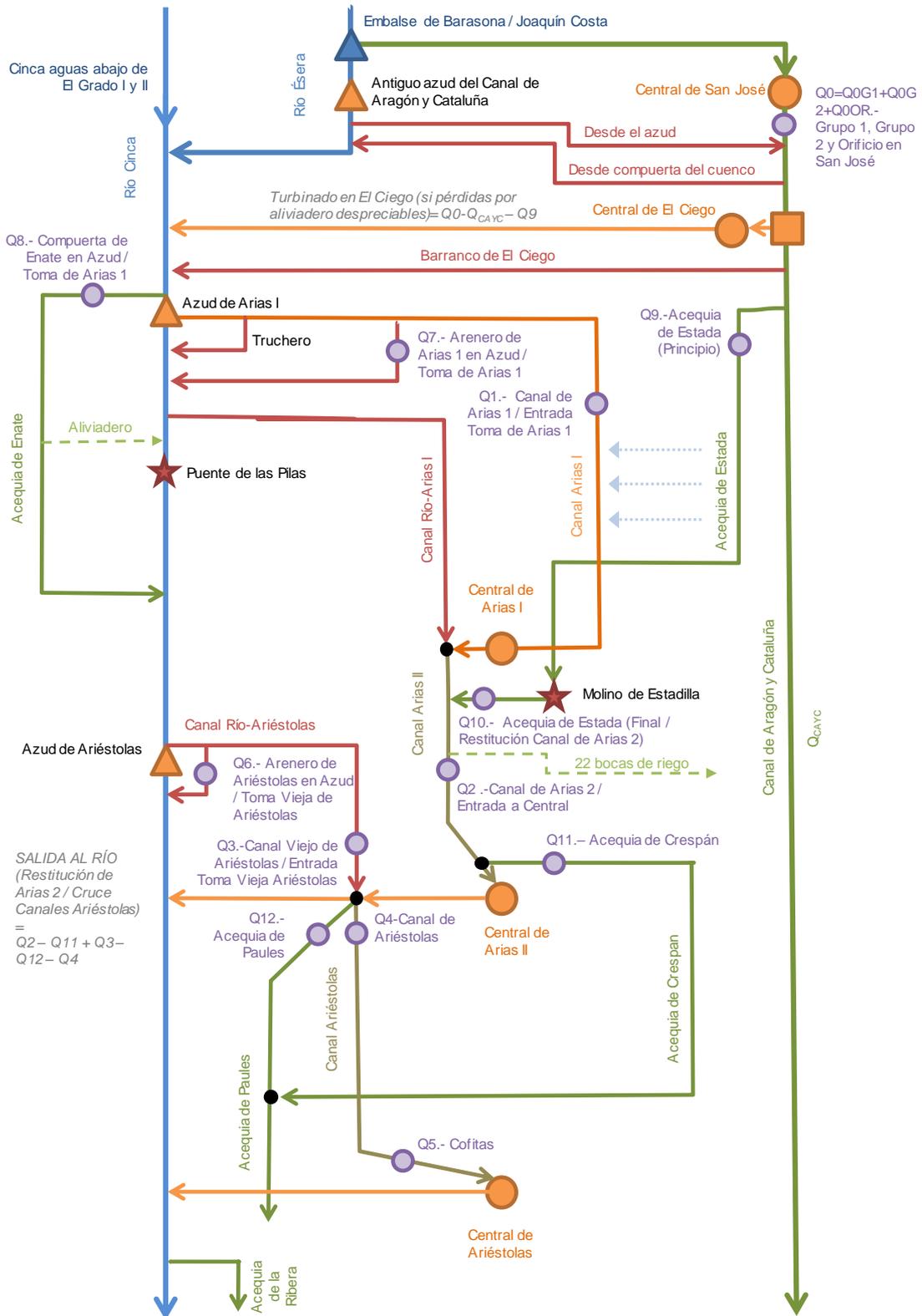


Figura 83.- Esquema de flujos

Esta utilidad se ha desarrollado sobre MS-Excel y cuenta con tres hojas que se describirán a lo largo de este informe:

- Detalles. - Es la hoja en la que se realizan los cálculos y se muestran los resultados con detalle.
- Resumen. - Recopila unas tablas resumen con las agrupaciones más relevantes de variables, a las que se añade una tabla de balances
- Esquema. - Presenta gráficamente los resultados más relevantes

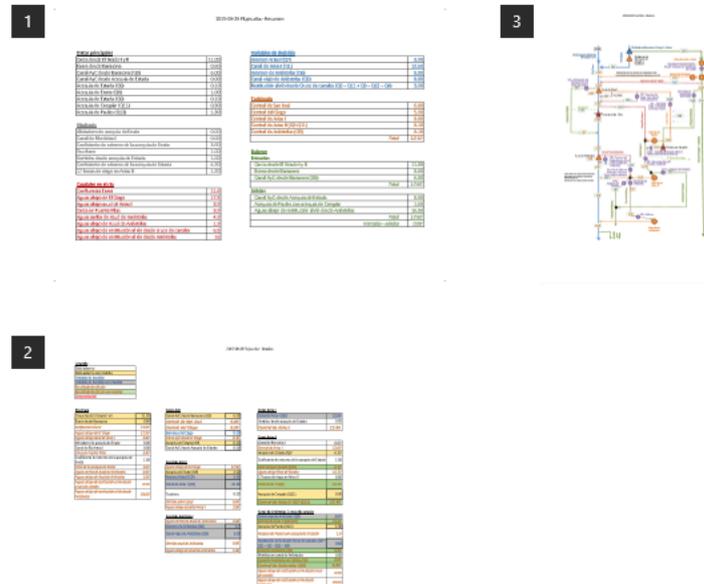


Figura 84.- Vista previa de las tres hojas del libro de cálculo

13.3.2.1 Clasificación de variables más relevantes

La clasificación de variables que se comentan aquí se puede encontrar en la hoja "Resumen".

La modificación de las celdas que contienen sus valores debe hacerse en la hoja detalles.

13.3.2.2 Datos principales

La siguiente tabla recoge los datos principales de entrada para el cálculo, que son las entradas de caudal al sistema y las demandas a satisfacer.

Cinca desde El Grado I y II
Ésera desde Barasona
Desde el azud antiguo del CAC
Canal AyC desde Barasona (Q0)

Canal AyC desde Acequia de Estada
Acequia de Estada (Q9)
Acequia de Enate (Q8)
Acequia de Estada (Q9)
Acequia de Crespán (Q11)
Acequia de Paules (Q12)

Tabla 5.- Datos principales de la utilidad de cálculo de flujos

13.3.2.3 *Hipótesis*

Hay un conjunto de flujos o coeficientes que pueden ser dato de entrada pero que se denominan hipótesis al poder considerarse constantes para diferentes escenarios

Aliviadero de acequia de Enate
Canal de Río-Arias I
Coeficiente de retorno de la acequia de Enate
Truchero
Vertidos desde acequia de Estada
Coeficiente de retorno de la acequia de Estada
17 bocas de riego en Arias II
Coeficiente de pérdidas en río hasta Ariéstolas
Coeficiente de retorno de la acequia de Crespán

Tabla 6.- Hipótesis principales de la utilidad de cálculo de flujos

13.3.2.4 *Variables de decisión*

Aunque podría enfocarse de otro modo, haciendo balances de otra forma, las variables de decisión seleccionadas son:

Desde compuerta de El Cuenco
Arenero Arias I (Q7)

Canal de Arias I (Q1)
Arenero de Ariéstolas (Q6)
Canal viejo de Ariéstolas (Q3)
Restitución al río desde Cruce de canales (Q2 - Q11 + Q3 - Q12 - Q4)

Tabla 7.- Variables de decisión de la utilidad de cálculo de flujos

13.3.2.5 Uso de las hojas

13.3.2.5.1 Hoja "Detalles"

La hoja "Detalles" debe ser usada para modificar las variables relevantes descritas anteriormente. Las celdas con los valores para los datos principales y variables de decisión están marcadas con bordes gruesos. Son las que se pueden modificar. Entre ellas están las celdas de valores consideradas hipótesis (en la hoja aparecen con el formato definido en la leyenda de "Dato externo"). No deben modificarse otras celdas distintas de las anteriores, pues se alteraría el funcionamiento del libro.

Leyenda		
Dato externo		
Dato externo con medida		
Variable de decisión		
Variable de decisión con medida		
Resultado de cálculo		
Resultado de cálculo con medida		
Comprobación		
Celda para introducir datos		

Río Cinca		
Cinca desde El Grado I y II	1.20	1.20
Ésera desde Barasona	0.90	0.90
Confluencia Ésera	2.10	2.10
Aguas abajo de El Ciego	10.18	2.10
Aguas abajo azud de Arias I	3.55	3.10
Aliviadero de acequia de Enate	0.00	
Canal de Río-Arias I	0.00	0.00
Cinca en Puente Pilas	3.55	3.10
Coefficiente de retorno de la acequia de Enate	1.00	
Final de la acequia de Enate	1.00	2.00
Aguas arriba de Azud de Ariéstolas (teor.)	4.55	4.55
Coefficiente de pérdidas en río hasta Ariéstolas	0.00	
Aguas arriba de Azud de Ariéstolas	4.55	4.55
Aguas abajo de Azud de Ariéstolas	4.55	4.55
Aguas abajo de restitución al río desde cruce de canales	4.55	4.55
Aguas abajo de restitución al río desde Ariéstolas	8.68	4.55

Para casos incompatibles:		
Sobra al final	-4.13	
Opción en Barasona por San José	28.01	
Opción en Ésera desde Barasona	-3.23	

Canal AyC		
Canal AyC desde Barasona (Q0)	32.14	36.00
Central de San José	32.14	36.00
Desde el azud antiguo del CAC	0.00	?
Desde compuerta de El Cuenco	0.00	?
Central del Ciego	7.08	12.00
Barranco del Ciego	1.00	
Canal AyC desde El Ciego	24.06	36.00
Acequia de Estada (Q9)	0.10	0.50
Canal AyC desde Acequia de Estada	23.96	36.00

Azud de Arias I		
Aguas abajo de El Ciego	10.18	
Acequia de Enate (Q8)	1.00	2.00
Arenero Arias I (Q7)	3.45	?
Canal de Arias I (Q1)	5.63	40.00
Truchero	0.10	0.20
Vertido sobre azud	0.00	
Aguas abajo azud de Arias I	3.55	3.10

Azud de Ariéstolas		
Aguas arriba de Azud de Ariéstolas	4.55	4.55
Arenero de Ariéstolas (Q6)	4.55	?
Canal viejo de Ariéstolas (Q3)	0.00	22.00
Vertido azud de Ariéstolas	0.00	
Aguas abajo de Azud de Ariéstolas	4.55	4.55

Producción/ Caudales en centrales Arias I, II y Ariéstolas	15.19	
--	-------	--

Canal Arias I		
Canal de Arias I (Q1)	5.63	40.00
Vertidos desde acequia de Estada	0.00	
Central de Arias I	5.63	

Canal Arias II		
Canal de Río-Arias I	0.00	0.00
Central de Arias I	5.63	
Acequia de Estada (Q9)	0.10	0.50
Coefficiente de retorno de la acequia de Estada	1.00	
Final acequia Estada (Q10)	0.10	0.50
Aguas abajo Final de Estada	5.73	40.00
17 bocas de riego en Arias II	0.00	
Canal Arias II (Q2)	5.73	40.00
Acequia de Crespán (Q11)	0.30	0.50
Central de Arias II (Q2-Q11)	5.43	

Canal de Ariéstolas / cruce de canales		
Canal viejo de Ariéstolas (Q3)	0.00	22.00
Central de Arias II (Q2-Q11)	5.43	
Acequia de Paules (Q12)	1.30	1.40
Acequia de Paules con acequia de Crespán	1.60	1.40
Restitución al río desde Cruce de canales (Q2 - Q11 + Q3 - Q12 - Q4)	0.00	
Canal de Ariéstolas (Q4)	4.13	22.00
Pérdidas en canal de Ariéstolas	0.00	
Canal de Ariéstolas en Cofitas (Q5)	4.13	22.00
Central de Ariéstolas (Q5)	4.13	
Aguas abajo de restitución al río desde cruce de canales	4.55	4.55
Aguas abajo de restitución al río desde Ariéstolas	8.68	4.55

Figura 85.- Aspecto de la hoja "Detalles"

Se incluyen comentarios para algunas celdas que explican el modo en que se realizan los cálculos.

Figura 86.- Visión detallada de la hoja "Detalles"

13.3.2.5.2 Resumen

La hoja "Resumen" no debe modificarse. Aporta un resumen de variables organizadas en grupos

A	B	C	D	E	F
2	Datos principales		Variables de decisión		
3	Cinca desde El Grado I y II	1.20	Desde compuerta de El Cuenco		0.00
4	Éspera desde Barasona	0.90	Arenero Arias I (Q7)		3.45
5	Desde el azud antiguo del CAC	0.00	Canal de Arias I (Q1)		5.63
6	Canal AyC desde Barasona (Q0)	32.14	Arenero de Ariéstolas (Q6)		4.55
7	Canal AyC desde Acequia de Estada	23.96	Canal viejo de Ariéstolas (Q3)		0.00
8	Acequia de Estada (Q9)	0.10	Restitución al río desde Cruce de canales (Q2 - Q11 + Q3 - Q12 - Q4)		0.00
9	Acequia de Enate (Q8)	1.00			
10	Acequia de Estada (Q9)	0.10	Turbinado		
11	Acequia de Crespán (Q11)	0.30	Central de San José		32.14
12	Acequia de Paules (Q12)	1.30	Central del Ciego		7.08
13			Central de Arias I		5.63
14	Hipótesis		Central de Arias II (Q2-Q11)		5.43
15	Aliviadero de acequia de Enate	0.00	Central de Ariéstolas (Q5)		4.13
16	Canal de Río-Arias I	0.00	Total		54.41
17	Coefficiente de retorno de la acequia de Enate	1.00			
18	Truchero	0.10	Balance		
19	Vertidos desde acequia de Estada	0.00	Entradas		
20	Coefficiente de retorno de la acequia de Estada	1.00	Cinca desde El Grado I y II		1.20
21	17 bocas de riego en Arias II	0.00	Éspera desde Barasona		0.90
22	Coefficiente de pérdidas en río hasta Ariéstolas	0.00	Canal AyC desde Barasona (Q0)		32.14
23			Total		34.24
24	Caudales en el río		Salidas		
25	Confluencia Éspera	2.10	Canal AyC desde Acequia de Estada		23.96
26	Aguas abajo de El Ciego	10.18	Acequia de Paules con acequia de Crespán		1.60
27	Aguas abajo azud de Arias I	3.55	Aguas abajo de restitución al río desde Ariéstolas		8.68
28	Cinca en Puente Pilas	3.55	Total		34.24
29	Aguas arriba de Azud de Ariéstolas	4.55	Entradas - salidas		0.00
30	Aguas abajo de Azud de Ariéstolas	4.55			
31	Aguas abajo de restitución al río desde cruce de canales	4.55			
32	Aguas abajo de restitución al río desde Ariéstolas	8.68			

Figura 87.- Hoja "Resumen"

13.3.2.5.3 Esquema

Sobre una imagen de un esquema del sistema, se superponen cuadros de texto con algunas de las celdas de valores de la hoja "Detalle", con lo que pueden visualizarse datos y resultados de modo gráfico.

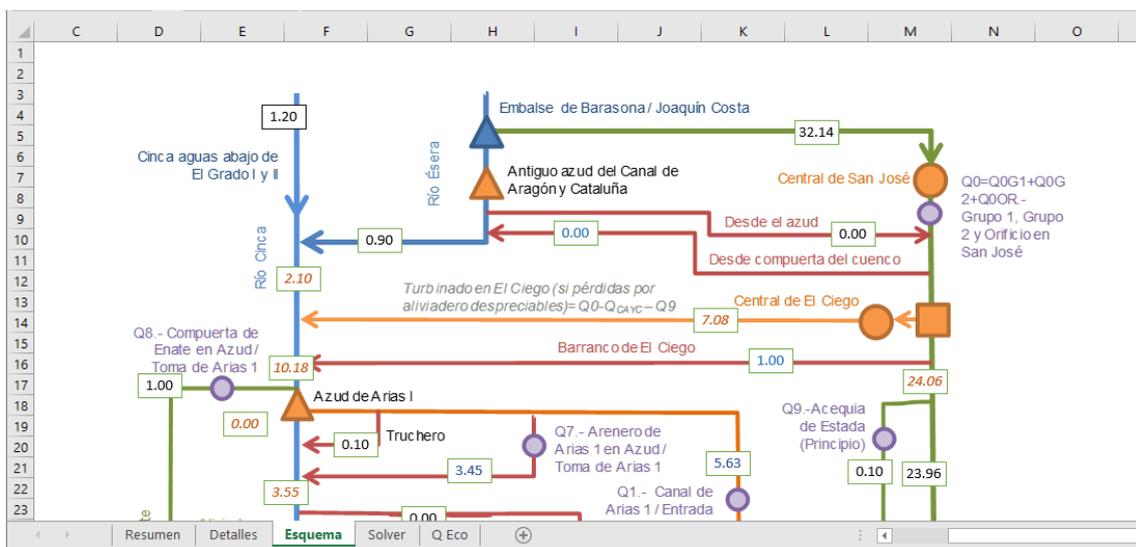


Figura 88.- Hoja "Esquema"

13.3.2.5.4 Caudales ecológicos

Se ha incluido una hoja con los caudales ecológicos impuestos en diferentes puntos. Algunas celdas de la hoja "Detalle" se refieren al contenido de algunas tablas de esta hoja.

El Grado				Barasona				Desde el azud de Arias hasta el retorno de la acequia de Enate. Caudal en Puente Pilas				Desde el retorno de la acequia de Enate hasta el retorno de la central de Ariéstolas			
Mes	Q (m3/s)	Días	Volumen (hm3)	Mes	Q (m3/s)	Días	Volumen (hm3)	Mes	Q (m3/s)	Días	Volumen (hm3)	Mes	Q (m3/s)	Días	Volumen (hm3)
10	1.10	31	2.95	10	0.70	31	1.87	10	2.80	31	7.50	10	4.25	31	11.38
11	1.10	30	2.85	11	0.70	30	1.81	11	2.80	30	7.26	11	4.25	30	11.02
12	1.00	31	2.68	12	0.70	31	1.87	12	2.70	31	7.23	12	4.15	31	11.12
1	1.00	31	2.68	1	0.70	31	1.87	1	2.70	31	7.23	1	4.15	31	11.12
2	0.90	28	2.18	2	0.60	28	1.45	2	2.50	28	6.05	2	3.95	28	9.56
3	0.90	31	2.41	3	0.60	31	1.61	3	2.50	31	6.70	3	3.95	31	10.58
4	1.10	30	2.85	4	0.70	30	1.81	4	2.80	30	7.26	4	4.25	30	11.02
5	1.20	31	3.21	5	0.90	31	2.41	5	3.10	31	8.30	5	4.55	31	12.19
6	1.20	30	3.11	6	0.90	30	2.33	6	3.10	30	8.04	6	4.55	30	11.79
7	0.90	31	2.41	7	0.70	31	1.87	7	2.60	31	6.96	7	4.05	31	10.85
8	0.80	31	2.14	8	0.60	31	1.61	8	2.40	31	6.43	8	3.85	31	10.31
9	0.90	30	2.33	9	0.60	30	1.56	9	2.50	30	6.48	9	3.95	30	10.24
Total:			31.80	Total:			22.09	Total:			85.43	Total:			131.16
Max:			1.20	Max:			0.90	Max:			3.10	Max:			4.55

Figura 89.- Hoja de caudales ecológicos

13.3.2.6 Hoja para cálculos con la utilidad Solver

La aplicación MS-Excel cuenta con una utilidad denominada Solver que permite obtener la solución de problemas de extremos (mínimos o máximos) por diferentes métodos. Esta funcionalidad puede emplearse de diferentes modos en el caso de este libro, por ejemplo:

- Para buscar solución para combinaciones en el Arenero Arias I y Canal Arias II con la condición de caudal ecológico aguas arriba de Ariéstolas y vertido nulo en azud de Arias I
- Para buscar solución para combinaciones en el Arenero Ariéstolas y Canal Viejo de Ariéstolas con la condición de caudal ecológico aguas abajo de Ariéstolas y vertido nulo en azud de Ariéstolas
- Maximizar la producción en las centrales de Arias I, Arias II y Ariéstolas, sujeto a restricciones de caudales ecológicos y vertidos nulos en los azudes. Las variables de decisión son:
- Maximizar la producción en las centrales de Arias I, Arias II y Ariéstolas, pero imponiendo valores positivos, sujeto a restricciones de caudales ecológicos y vertidos nulos en los azudes. Las variables de decisión son: Arenero Arias I (Q7), Canal de Arias I (Q1), Arenero de Ariéstolas (Q6), Canal viejo de Ariéstolas (Q3) y la restitución al río desde Cruce de canales (Q2 - Q11 + Q3 - Q12 - Q4)

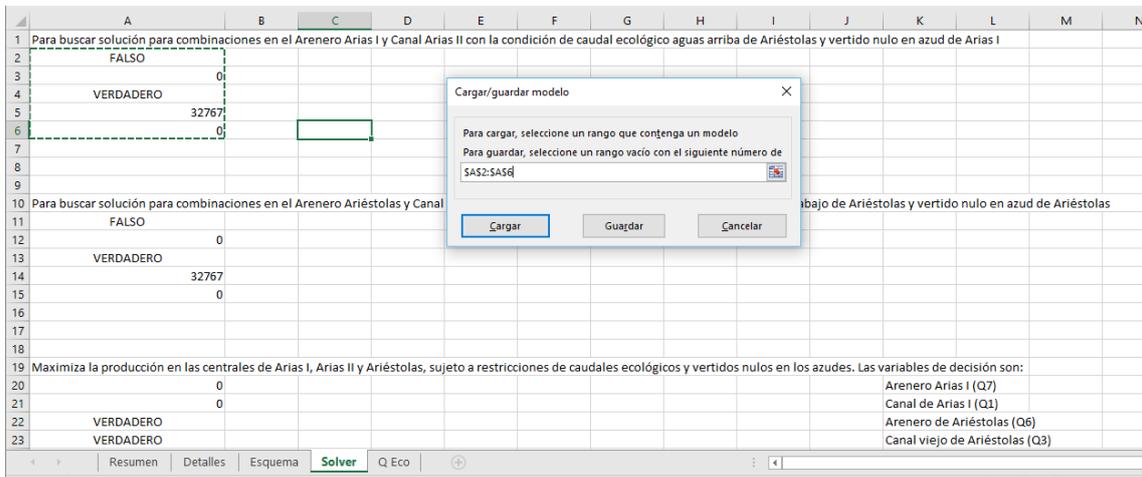


Figura 90.- Ejemplo de carga de un modelo de la utilidad Solver

La hoja "Solver" facilita la carga de un modelo para la realización de los cálculos que corresponda a uno de las metas anteriores.

13.3.2.7 Fundamento de los cálculos

Los cálculos son balances de acuerdo a la topología del sistema y agrupados conforme a las variables de decisión. Algunos de sus detalles se describen en los comentarios incluidos en la hoja "Esquema". Dada la naturaleza de la utilidad empleada, el usuario puede ver los detalles de cálculo de cada celda.

14 Referencias

14.1 Predicción hidrológica

El libro relacionado con esta publicación, "Bases SPH 2015.- Bases organizativas y conceptuales para los sistemas de predicción hidrológica" puede descargarse gratuitamente desde:

<http://www.bubok.es/libros/240907/BASES-SPH-2015-Bases-conceptuales-y-organizativas-para-los-sistemas-de-prediccion-hidrologica>

El mismo sitio ofrece la posibilidad de imprimirlo a coste sin beneficio para el autor.

Hay otra referencia recomendable en cuanto tiene que ver con el pronóstico hidrológico: la guía 1072 de la OMM (Manual on Flood Forecasting and Warning, WMO-No. 1072), que en breve se dispondrá en español (marzo de 2016).

Se puede descargar gratuitamente desde:

http://library.wmo.int/opac/index.php?lvl=notice_display&id=5841#.VuFWvnhC00

También se sugiere al lector la visita a la página de PROHIMET, la "Red iberoamericana para el monitoreo y pronóstico de fenómenos hidrometeorológicos": <http://www.prohimet.org>

14.2 Programación

Como ya se indicó anteriormente, en Internet es fácil encontrar manuales o tutoriales de iniciación. Basta con escribir en un buscador "VBA Excel" y aparecerán varios. Sin embargo, siguiendo la publicación puede aprenderse lo suficiente para que el lector pueda hacer muchas otras cosas.

No obstante, es recomendable usar la página de Microsoft para desarrolladores de Office: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/office/>

14.3 Matemáticas y cálculo numérico

La referencia general a usar va a depender de la formación previa del lector. También en esto hay muchas posibilidades de encontrar buen material en Internet.

14.4 Descarga de ejemplos

El autor dejará una carpeta pública con los archivos de ejemplos, pero los enlaces pueden cambiar a lo largo del tiempo. En principio, se han situado en:

<http://www.angel-luis-aldana.com>

Pero el lector puede contactar con el autor a través de:

PROHIMET:

<http://www.prohimet.org>

Linkedin:

<https://es.linkedin.com/in/angel-luis-aldana-valverde-6b742510>

Facebook:

<https://www.facebook.com/angelluis.aldanavalverde>

Correo:

angel.l.aldana@prohimet.org

Resumen

Esta publicación muestra de manera didáctica cómo, con unas nociones básicas de programación, es posible solucionar problemas prácticos en la hidrología. El contenido se complementa con un conjunto de archivos que el lector puede descargar de Internet, que incluye el código de los programas que aquí se usan y datos de prueba

Gracias a todo lo anterior, el lector puede aprender a programar con Visual Basic en Microsoft-Excel, a la vez que obtiene solución a varios problemas prácticos de tratamiento de series temporales. E, incluso, contará con el código para simular, con modelos simples, el funcionamiento de un embalse y la transformación de lluvia en escorrentía en una cuenca.

También se describen algunas soluciones más avanzadas desarrolladas por el autor.

Este libro y "BASES SPH 2015.- Bases conceptuales y organizativas para los sistemas de predicción hidrológica" son complementarios entre sí.

Autor

Angel Luis Aldana Valverde es, desde 1997, Doctor Ingeniero por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (España). Ha desarrollado gran parte de su carrera profesional en el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, trabajando, sobre todo, en cuestiones relacionadas con los sistemas automáticos de información hidrológica, la predicción hidrológica y la operación de embalses en situaciones de crecidas. Es el coordinador de la red PROHIMET (Red iberoamericana para el monitoreo y pronóstico de fenómenos hidrometeorológicos), desde su fundación en 2005, y ha participado en proyectos y actividades de formación en muchos países latinoamericanos.

Actualmente trabaja como consultor de la OMM (Organización Meteorológica Mundial), del BM (Banco Mundial) y como profesional independiente..